Bedienungsanleitung Messfahrrad

Prof. Dr. G. Haussmann
Dipl.-Ing. W. Then

Inhaltsverzeichnis

I Das Messfahrrad Seite 3
I.1 Einleitung Seite 3
I.2 Technische Daten des Mountainbikes Seite 3
I.3 Mechanischer Aufbau Seite 4
I.4 Übersicht über die Messtechnik Seite 5
II Elektrischer Aufbau Seite 7
II.1 Stromversorgung Seite 7
II.2 Ladegerät für Pb/NC-Akkumulatoren Seite 7
II.3 Baugruppe Platine 1 Seite 8
II.4 Baugruppe Platine 2 Seite 9
III Sensorik Seite 12
III.1 Messung Federweg Seite 12
III.2 Messung der Geschwindigkeit und Trittfrequenz Seite 13
III.3 Messung der Horizontal- und Vertikalbeschleunigung Seite 16
III.4 Messung der Biegekräfte und Torsionsmomente mit DMS Seite 19
III.4.1 Dehnungsmessstreifen (DMS) Seite 19
III.4.2 Messverstärker AE 101 Seite 20
III.4.3 Kräfte am Lenker Seite 22
III.4.4 Kräfte und Momente am Lenkervorbau Seite 25
III.4.5 Kräfte und Biegungen an der Sattelstütze Seite 27
III.4.6 Kräfte an der ungefederten Gabel Seite 29
III.4.7 Kräfte am Rahmen Seite 30
IV Datenaufzeichnung und –speicherung Seite 32
IV.1 Beschreibung Datenlogger DL16C V2.2 Seite 32
IV.2 Pinbelegung DL16 Seite 35
V Datenübertragungssoftware TEMES Seite 36
V.1 Allgemeines Seite 36
V.2 Funktionsübersicht Seite 37
V.2.1 Datei-Menü Seite 37
V.2.2 Hardware-Menü Seite 37
V.2.3 Anzeige-Menü Seite 37
V.2.4 Fenster-Menü Seite 37
V.2.5 Hilfe-Menü Seite 37
V.3 Parametrierung des Datenlggers Seite 38
V.4 Online-Messwertdarstellung und Kalibrierung Seite 43
V.5 Datentransfer zum PC und Abspeicherung Seite 44
V.6 Darstellung und Analyse der Messungen Seite 44
V.7 Beispiel für den Ablauf einer Messung Seite 46
VII Literarurverzeichnis Seite 47
VIII Anhang Seite 48
VIII.1 Ausbau der Federgabel Seite 48
VIII.2 Programmierung des Datenloggers DL16 Seite 50

I Das Messfahrrad

I.1 Einleitung

Das für diesen Projektlaborversuch beschaffte Fahrrad ist ein Mountainbike der Firma Focus. Mit dem Messfahrrad sollen im Rahmen des Messtechnischen Labors dynamische Messungen unterschiedlicher Messgrössen mit hoher Genauigkeit auch unter rauheren Bedingungen durchgeführt werden.

Ziel der Entwicklung des Messfahrrads war es, eine Behinderung des Fahrers bei den Messungen vollständig auszuschliessen und das Fahrradgewicht durch die Messausrüstung nicht wesentlich zu verändern.

I.2 Technische Daten des Mountianbikes

Hersteller: Focus

96er Focus Black Hills	Gewicht:	ca. 12 kg

Rahmenmaterial:	Tange MTB-OS Cr-Mo DB	Sattelstütze:	Cr-Mo
Rahmengröße:	42cm	Sattel:	MTB
Gabel:	Cr-Mo Unicrown	Schalthebel:	Grip Shift SRT 450
Lenkwinkel:	71°	Schaltwerk:	Shimano STX
Sitzwinkel:	73°	Umwerfer:	Shimano STX
Sitzrohrlänge:	460 mm	Bremshebel:	Grip Shift SRT 450
Oberrohrlänge:	570 mm	Bremsen:	Shimano STX
Kettenstrebe:	430 mm	Tretkurbel:	Shimano STX
Radstand:	1048 mm	Pedale:	MTB
Steuersatz:	Tioga Os	Naben:	Shimano Alivio
Innenlager:	Shimano Cartridge	Felgen:	ALU Hohlkammer 36 L
Vorbau:	Alu	Reifen:	Hard-Climber/Liner
Lenker:	Alu	Sonstiges:	k.A.

I.3 Mechanischer Aufbau

In Bild 1 sind die Bezeichnungen der wichtigsten Komponenten des Fahrradrahmens, in Bild 2 die Bezeichnungen der wichtigsten Anbauteile am Beispiel von Mountain-Bikes zusammengestellt.

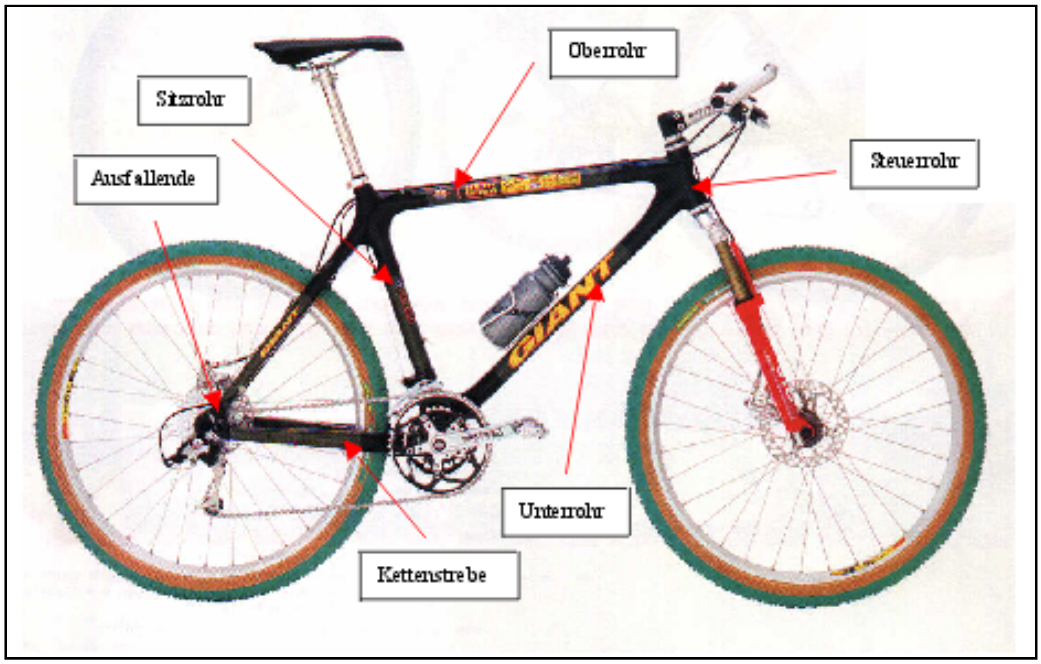

Bild 1: Bezeichnung der wichtigsten Bestandteile des Fahrradrahmens

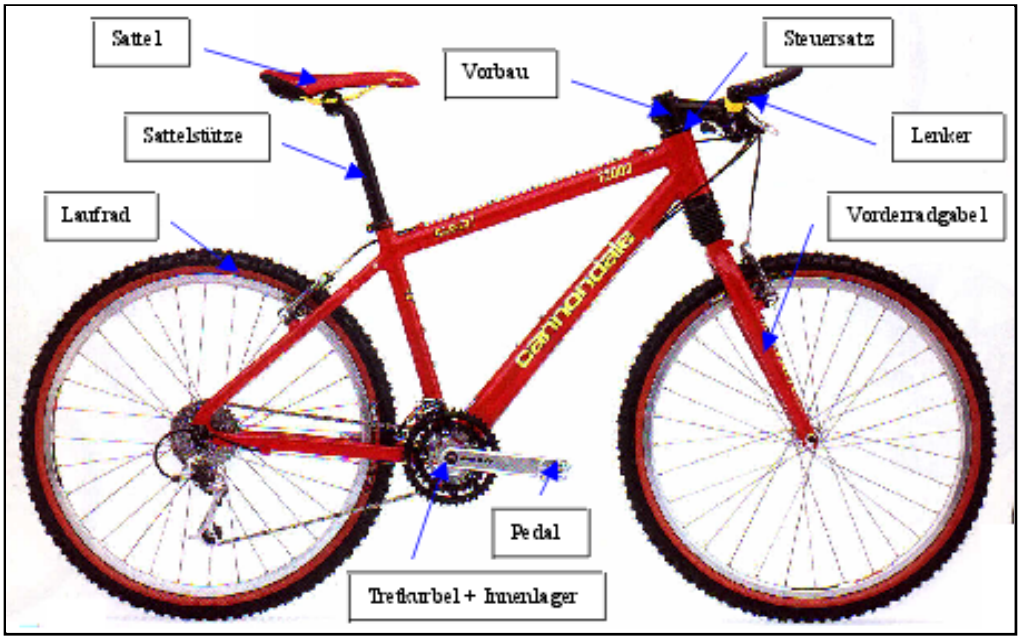

Bild 2: Bezeichnung der wichtigsten Anbauteile des Fahrrads

I.4 Übersicht über die Messtechnik

Die Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die Messgrößen, die mit den am Messfahrrad angebauten Sensoren ermittelt werden können.

Tabelle 1: Mit dem Messfahrrad messbare Grössen und verwendete Sensoren

Nr.	Messgrösse	Einheit	Sensor	Bemerkung
1	Fahrgeschwindigkeit	km/h	Induktiver Näherungsschalter	
2	Kurbelumdrehung	min^{-1}	Induktiver Näherungsschalter	
3	Kräfte	N	DMS	2x vorh.
4	Momente	N	DMS	2x vorh.
5	Beschleunigung	m/s^2	kapazitiver Beschleunigungssensor	2x vorh.
6	Federweg	mm	potentiometrischer Wegaufnehmer	

- Zur Messung der **Fahrgeschwindigkeit** dient ein induktiver Näherungsschalter, der am Gepäckträger mit einer gefrästen Halterung aus Aluminium geklemmt ist. In den Speichen sind drei Fahnen (Sechskantschrauben) montiert.

- Die **Trittfrequenz** wird ebenfalls von einem induktiven Näherungsschalter aufgenommen, der das kleine Kettenblatt der Kurbel abtastet. Der Sensor ist mit einer Halterung aus Aluminium befestigt, die an den Kettenstreben montiert ist. Die Position des Sensors liegt oberhalb des Tretlagers, so dass er relativ gut gegen Beschädigungen geschützt ist.

- Bei dem Messfahrrad können am Rahmen und an verschiedenen Anbauteilen (Gabel, Lenker Vorbau und Sattelstütze) **Kräfte** bzw. **Torsionsmomente** jeweils in zwei **Richtungen** mit DMS-Halbbrücken ermittelt werden. Es ist z.B. möglich, die Belastungen des Lenkers im Fahrbetrieb zu messen. Da nur zwei DMS-Messverstärker vorhanden sind, können Kräfte bzw. Momente lediglich an einem Messort in zwei Richtungen aufgenommen werden.

- Die auftretenden **Beschleunigungen** werden in zwei Richtungen von kapazitiven Sensoren aufgenommen. Es gibt dabei unterschiedliche Messstellen, an denen diese Sensoren am Rahmen befestigt werden können. Hierfür stehen zwei Halterungen zu Verfügung. Die erste Halterung besteht aus einem gefrästen Aluminiumbauteil, das die Befestigung der Sensoren in drei Achsen ermöglicht. Sie kann nur am Rahmen im Bereich des Sitzrohres an der Getränkehalterungsaufnahme befestigt werden (siehe auch Bild 16). Die andere Halterung ist eine drehbare 90°-Aufnahme (horizontal und vertikal), die an Rohren vom Durchmesser 1“ befestigt werden kann und damit speziell für den Vorbau konstruiert.

- Es besteht die Möglichkeit, das Messfahrrad mit einer Federgabel auszustatten. Zur Messung des **Federwegs** steht ein potentiometrischer Wegaufnehmer zur Verfügung. Der Sensor wird mit einer PVC-Halterung an der Gabel befestigt. Die Hubstange wird mit einem Lochblech an einer der Befestigungsschrauben der Standrohre der Gabelbrücke verschraubt.

Am Messfahrrad befindet sich ein Gepäckträger, auf dem eine Fahrradbox befestigt ist. Die Fahrradbox ist abschließbar und schützt den Inhalt vor Spritzwasser und Staub. In dieser Box befinden sich

- die Stromversorgung,
- die Anschlußplatine der einzelnen Sensoren,
- die Messverstärker mit den dazugehörenden Messbrückenschaltungen und
- der Datenlogger.

Bild 3: Messfahrrad mit Fahrradbox, die die Messelektronik enthält

Um eine einigermaßen übersichtliche Anordnung der einzelnen Bauteile zu verwirklichen, ist die Box in eine obere und untere Ebene unterteilt worden. In der unteren Ebene befindet sich die Stromversorgung sowie die Anschlußplatine, da an diesen Bauteilen keine Einstellungen mehr vorgenommen werden müssen. Auf der oberen Ebene sind die restlichen Bauteile montiert. Zusätzlich gibt es eine Ladebuchse und ein Wahlschalter für die Betriebsarten Laden/ Ein/ Aus.

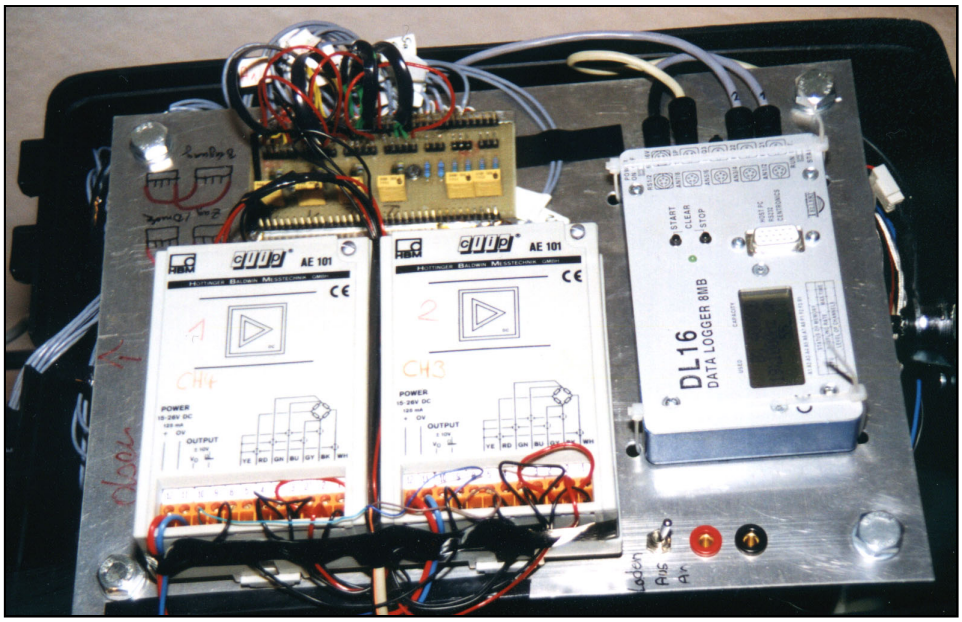

Bild 4: Fahrradbox mit Datenlogger (siehe Kapitel IV), Messverstärker (siehe Abschnitt III.4.2) und Platine2 (siehe Abschnitt II.4)

II Elektrischer Aufbau

II.1 Stromversorgung

Der Strombedarf der an den Akku angeschlossenen Geräte ist in Tabelle 2 zusammengestellt:

Tabelle 2: Strombedarf der elektrischen Komponenten des Messfahrrads

	Komponente/Sensor	Spannungs-bereich	Versorgungs-spannung	Strom-bedarf
1	Datenlogger	6...16 V	[12 V]	50 mA
2	Beschleunigungsaufnehmer	bis 18 V	[12 V]	20 mA
3	Beschleunigungsaufnehmer	bis 18 V	[12 V]	20 mA
4	DMS Messverstärker	15...26 V	[18 V]	125 mA
5	DMS Messverstärker	15...26 V	[18 V]	125 mA
6	Induktiver Aufnehmer Geschw.	10...30 V	[18 V]	20 mA
7	Induktiver Aufnehmer Kurbelumdrehung	10...30 V	[18 V]	20 mA
			Σ	380 mA

Um eine Betriebsdauer von 8 Stunden zu gewährleisten wird ein Akku mit einer Leistung von 3 Ah benötigt. Die Stromversorgung besteht aus drei 6 V 3,4 Ah Bleiakkus, die in Reihe miteinander geschaltet sind. Bei einem Strombedarf von 380 mA beträgt die Betriebsdauer des Systems etwa 9 Stunden. Das vorhandene Ladegerät wird im nächsten Abschnitt beschrieben.

II.2 Ladegerät für Pb/NC-Akkumulatoren

Das Ladegerät wurde speziell für den Laborversuch Messfahrrad in der Elektronikwerkstatt des FGA entwickelt. Es kann mit den vorhandenen Einstellelementen universell eingesetzt werden.

Die Frontansicht des Ladegeräts ist in Bild 5 dargestellt.

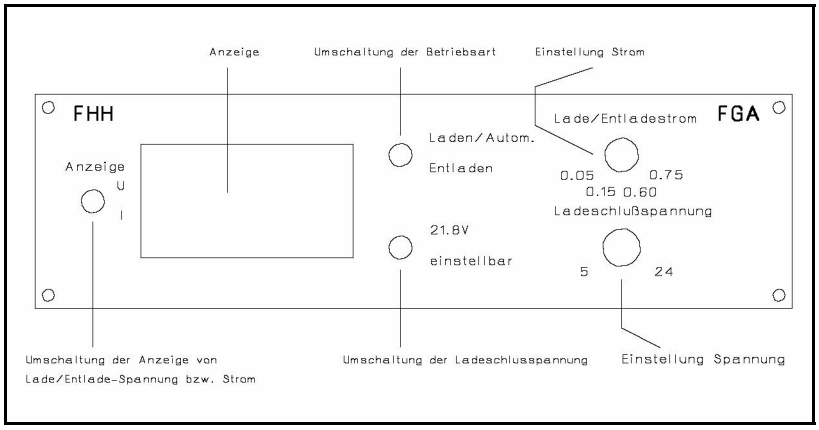

Bild 5: Frontansicht des Ladegeräts

Einstellelemente:

Umschaltung der Anzeige:

- U: Anzeige der Akkuspannung bei angeschlossenem Akku bzw. der Ladeschlusspannung bei nicht angeschlossenem Akku.
- I : Anzeige des Lade bzw. des Entladestromes.

Digitalanzeige für Spannung bzw. Stromstärke:

- U (XX.X) V I (.XXX) A

Umschaltung der Betriebsart des Ladegeräts:

- Laden: der Akku wird mit dem gewähltem Strom aufgeladen.
- Entladen: der Akku wird mit dem gewähltem Strom entladen.

Umschaltung der Ladeschlusspannung

- 21.8V: Festwert für die Ladung des Fahrradakku's.
- einstellbar: es können Ladeschlusspannungen von 5V bis 24V eingestellt werden. Die Ladeschlusspannung in der Stellung „einstellbar" kann mit dem Potentiometer eingestellt werden.

Einstellung Strom:

- Der Lade/Entladestrom kann mit dem Stufenschalter auf 0.05/0.15/0.6/0.75 A eingestellt werden.

Achtung! Die folgenden Hinweise sind unbedingt zu beachten:

- Die Polarität des Akku's darf keinesfalls vertauscht werden.!!!!!!!
- Das Ladegerät arbeitet nicht automatisch d.h. die Lade bzw. Entladezyklen müssen überwacht werden.
- Pb Ladeschlusspannung ca.2.45V/Zelle, Entladeschlussspannung ca. 1.85V/Zelle
- NC Ladeschlusspannung ca.1.45V/Zelle, Entladeschlusspannung ca.0.9V/Zelle

II.3 Baugruppe Platine 1

Eine Übersicht über die Anschlüsse der Platine 1 findet man in Bild 6 :

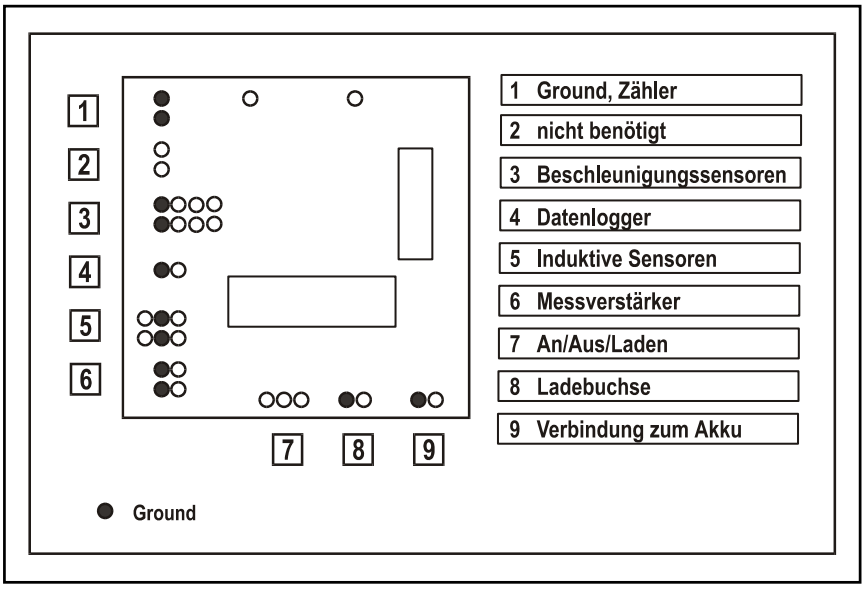

Bild 6: Übersicht über die Anschlüsse der Platine 1

Die Platine 1 enthält Schaltungen für die Stromversorgung und die induktiven Näherungsschalter und befindet sich in der zweiten Ebene. Um einem möglichen Platinenbruch auf Grund von externen Erschütterungen vorzubeugen, wurde sie an einem Winkelblech vertikal angebracht. Ausserdem lassen sich so die Kabel einfacher auf dem Boden verlegen.

II.4 Baugruppe Platine 2

Eine Übersicht über die Anschlüsse der Platine 2 findet man in Bild 7a :

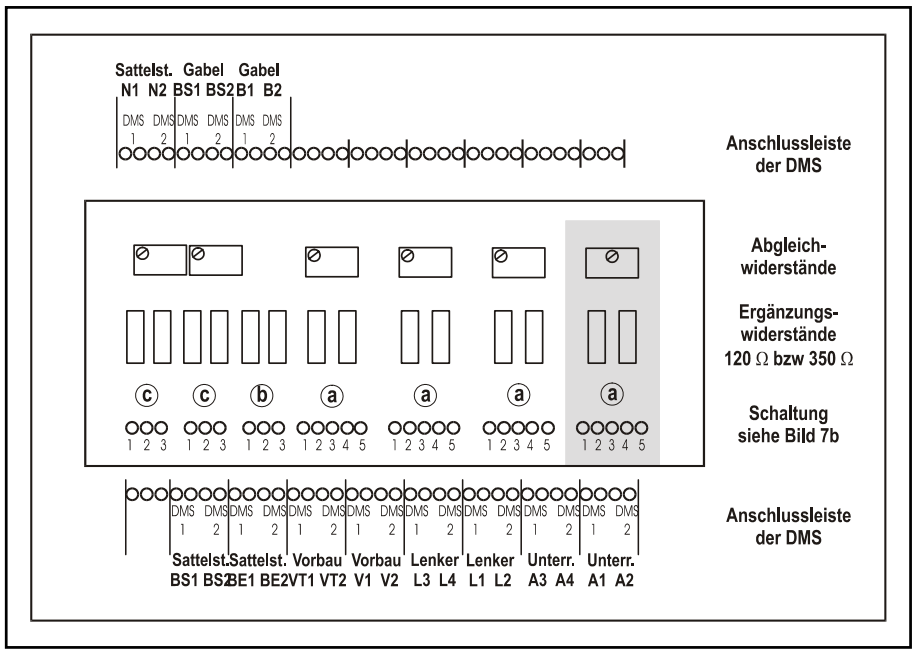
Sattelst. N1 N2
Gabel BS1 BS2
Gabel B1 B2
DMS 1 2
Anschlussleiste der DMS
Abgleich-widerstände
Ergänzungs-widerstände 120 Ω bzw 350 Ω
c c b a a a a
1 2 3 1 2 3 1 2 3 1 2 3 4 5 1 2 3 4 5 1 2 3 4 5
Schaltung siehe Bild 7b
Anschlussleiste der DMS
Sattelst. BS1 BS2
Sattelst. BE1 BE2
Vorbau VT1 VT2
Vorbau V1 V2
Lenker L3 L4
Lenker L1 L2
Unterr. A3 A4
Unterr. A1 A2

Bild 7a: Übersicht über die Anschlüsse der Platine 2

Die Platine 2 enthält die notwendige externe Beschaltung für die DMS-Messbrücken für DMS mit 120 Ω und 350 Ω Eigenwiderstand. Es sind nummerierte Anschlüsse für die DMS sowie die Ergänzungs- und trimmbare Abgleichwiderstände vorhanden.

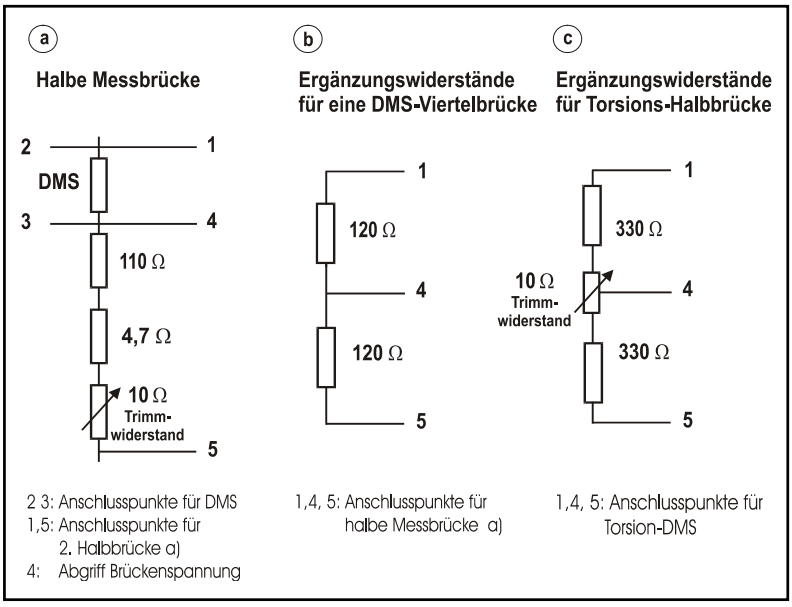

Bild 7b: Schaltungen zum Aufbau von DMS-Messbrücken Erläuterung siehe Text

Die hinter den nummerierten Anschlussleisten steckenden Schaltungen a), b) und c) sind in Bild 7b dargestellt. Schaltung a) stellt einen auf drei Einzelwiderstände aufgeteilten trimmbaren 120 Ω-Gesamtwiderstand in Verbindung mit zwei Anschlusspunkten für einen DMS mit 120 Ω Eigenwiderstand zum Aufbau einer halben Messbrücke zur Verfügung. Jeweils zwei solche Teilbrücken müssen zu einer funktionsfähigen Messbrücke mit 2 DMS zusammengeschaltet werden.
Schaltung b) ermöglicht gemeinsam mit einer Teilbrücke nach a) den Aufbau einer DMS-Viertelbrücke mit festen 120-Ω-Ergänzungswiderständen.
Schaltung c) ergänzt die beiden am Lenkervorbau applizierten Torsions-DMS zu einer DMS-Halbbrücke mit zwei 350Ω-Torsions-DMS und zwei festen Ergänzungswiderständen.

Durch Verbindung von 2 Teilbrücken nach Schaltung a) aus Bild 7b können an Lenker, Lenkervorbau, Sattelstütze, Rahmen und Gabel sowohl die Biegung als auch die Messgrössen Zug bzw. Druck aufgenommen werden. Der Normalfall ist die Messung der Biegung zur Ermittlung der eingeleiteten Kräfte. Bild 8 zeigt die komplette Schaltung der DMS und der Ergänzungswiderstände der Platine 2 zum Aufbau von kompletten Messbrücken zur Messung sowohl der Biegung (Bild 8 links) als auch von Zug/Druck (rechts).

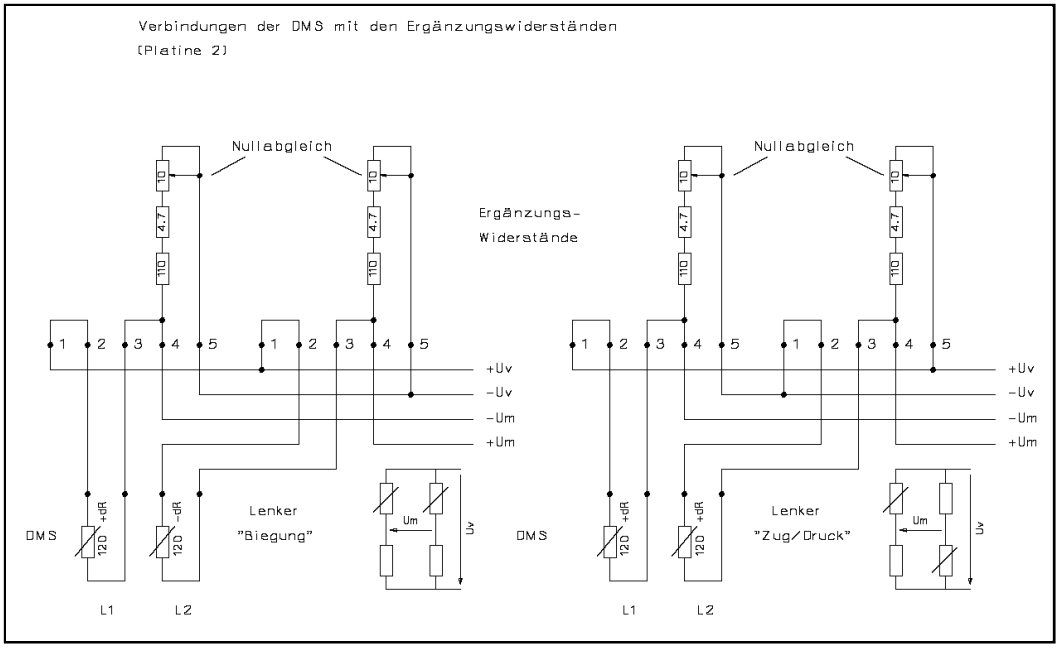

Bild 8: Schaltungen von 2 Teilbrücken zum Aufbau einer DMS-Messbrücke
Es können sowohl die Messgrösse Biegung als auch die Messgrössen Zug bzw. Druck aufgenommen werden (Erläuterung siehe Text)

Anschaulich bedeutet das, dass die Anschlusspunkte der beiden Teilbrücken gemäß Bild 9 verbunden werden müssen:

1. Biegung: Anschlusspunkt 1/Teilbrücke 1 mit Anschlusspunkt 1/Teilbrücke 2
   Anschlusspunkt 5/Teilbrücke 1 mit Anschlusspunkt 5/Teilbrücke 2
2. Zug/Druck: Anschlusspunkt 1/Teilbrücke 1 mit Anschlusspunkt 5/Teilbrücke 2
   Anschlusspunkt 5/Teilbrücke 1 mit Anschlusspunkt 1/Teilbrücke 2

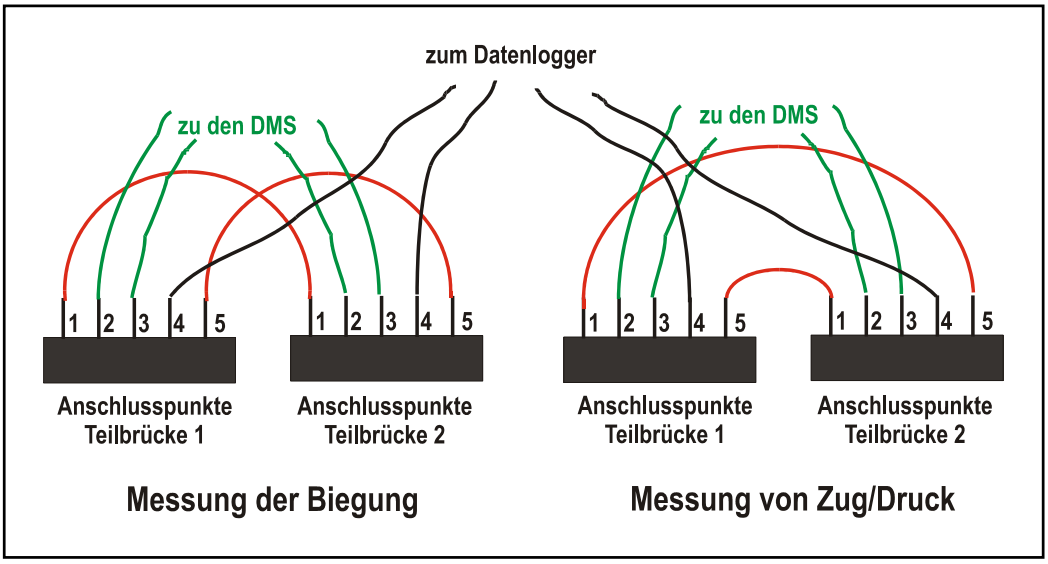

Bild 9: Schaltung der DMS zur Messung von Zug/Druck bzw. Biegung

Um eine möglichst fehlerfreie und elektrisch konstante Verbindung der Kabel mit der Platine zu gewährleisten, sollten die Anschlüsse eigentlich gelötet sein. Um im Rahmen des Messtechniklabors jedoch eine größere Flexibilität zu erhalten, wurden die Anschlüsse gesteckt. Schon geringe Widerstandsänderung der Verbindung besitzen einen großen Einfluß auf die Messgenauigkeit, so dass die gewählte Verbindungstechnik im Sinne der Minimierung des Messfehlers als nicht optimal einzuordnen ist. Die Anschlußkabel der DMS sind auf der Unterseite der Platine angelötet. Der Schirm dient als Zugsicherung und ist an der Oberseite mit einem Weißblech verbunden.

Es ist genügend Kabellänge vorhanden, um die Sattelstütze zu kalibrieren. An der starren Gabel sind die Verbindungskabel mit einem neunpoligen Computerstecker ausgerüstet.

Vorgehensweise beim Anschließen der DMS:

- Von den am Messfahrrad applizierten DMS sind je nach vorgegebener Messaufgabe die entsprechenden DMS mit dem grünen (oder gelben) Kabel zu verbinden.
- Die roten Verbindungskabel müssen je nach Messung (Zug/Druck oder Biegung) nach Bild 9 angeschlossen werden.
- Die Brückendiagonalspannung muß durch Abgleichen der Abgleichwiderstände (Bild 7a und Bild 7b) auf den Wert 0 gestellt werden.

III Sensorik

III.1 Messung Federweg

Zur Ermittlung des Federwegs an der Gabel wird ein linearer Wegsensor benötigt. Hierzu stehen mehrere unterschiedliche Verfahren zur Verfügung. Induktive oder kapazitive Wegaufnehmer besitzen den Nachteil, dass sie eine TF-Versorgung und -Verstärkung benötigen. Eine andere Möglichkeit ist die Verwendung von potentiometrischen Wegaufnehmern.
Diese sind relativ unempfindlich, preisgünstig, einfach in der Handhabung und benötigen lediglich eine Gleichspannungs-Versorgung. Als Messsignal erhält man eine wegproportionale Spannung. Zu beachten ist hierbei, dass sich der elektrische Widerstand des Aufnehmers in den ersten und letzten 5 mm nicht vollständig linear verhält. Das hat zur Folge, dass die Voreinstellung beim Datenlogger für den 100 mm Wegaufnehmer nicht verwendet werden kann. Der Daten-Logger muß so programmiert werden, dass der Nullpunkt im linearen Bereich liegt (+5 bis 95 mm). Dies führt bei der Wegmessung an der Federgabel zu keinen Einschränkungen, da der maximale effektive Federweg der Gabel ohnehin nur 70 mm beträgt.

Bild 10: Messung des Federwegs der Federgabel mit einem potentiometrischem Wegsensor

Der Wegsensor ist mit einem Kunstoffteil am Tauchrohr der Federgabel befestigt. Die Hubstange ist an der Befestigungsschraube der Gabelbrücke montiert, der Wegaufnehmer wird außerdem durch das Tauchrohr (zur Fahrtrichtung) geschützt. Beim Austausch der Gabel kann das komplette System bestehend aus Federgabel und Sensor gewechselt werden.

Die Hubstange muß mit der Federgabel absolut fluchten, da die feste Einspannung des Sensors bei einem Verkanten zu einer erhöhten Reibung führt. Das hat langfristig eine Beschädigung des Sensors zur Folge. Abhilfe könnten Kugelgelenke bieten, die an den Enden angebracht würden. Da da es keine geeigneten Schutzbälge auf dem Markt gibt, besteht die Gefahr der Verschmutzung der Kolbenstange,.

Der Wegaufnehmer incl. Halterung ist für alle Marzocchi Z-Gabeln bis zu einem Federweg von „100 mm“ geeignet.

Tabelle 3a: Anschlüsse des potentiometrischen Wegsensors am DL16

Pin	Anschlüsse DL 16		Anschlüsse Sensor
1	$+U_B$-1V	-	-
2	Ground	braun	gelb
3	AN Eingang 1	gelb	-
4	AN Eingang 2	weiß	rot
5	+5,12V	grün	grün

Kalibrierung

Die Kalibrierung eines potentiometrischen Wegaufnehmers ist relativ einfach: Bei ausgefahrener Hubstange ist die Messspannung gleich null. Bei eingefahrener Hubstange ist sie gleich der Versorgungsspannung. Wie oben bereits erwähnt, muss der Datenlogger so programmiert werden, dass der Nullpunkt im linearen Bereich liegt (+5 bis 95 mm).

Tabelle 3b: Kalibrierwerte des potentiometrischen Wegsensors

Kanal: A2	Federweg	
	Messgrösse	Messsignal
1. Wert : 2. Wert : Einheit :	0 100 mm	0 5,12 V
Messbereich	von 5 mm	bis 95 mm

III.2 Messung der Geschwindigkeit und Trittfrequenz

Zur Messung von Geschwindigkeit und Trittfrequenz finden induktive Näherungsschalter Verwendung. Im Vergleich zu mechanischen Schaltern weisen sie einige Vorteile auf. Sie funktionieren

- berührungslos,
- verschleißfrei,
- weisen hohe Schaltfrequenzen und eine hohe Schaltgenauigkeit auf und
- sind geschützt gegen Vibrationen, Staub und Feuchtigkeit.

Induktive Nährungsschalter arbeiten meist nach dem Induktionsprinzip und basieren auf dem Effekt der Güteänderung eines Schwingkreises: Sie erzeugen an ihrer aktiven Fläche ein hochfrequentes Wechselfeld. Gelangen metallische Objekte in dieses Feld, so entstehen im Metall Wirbelströme, die dem LC-Schwingkreis des Näherungschalters Energie entziehen. Dadurch sinkt die Amplitude des Wechselfeldes, und es wird ein Schaltsignal ausgelöst.
Induktive Sensoren erkennen alle metallischen Objekte, unabhängig davon, ob sie sich bewegen oder nicht. Entscheidend für die Auslösung eines Schaltsignals ist ein ausreichend tiefes Eindringen des Objekts in das Feld des Sensors.

Die Feldstärke des hochfrequenten Wechselfeldes ist so ausgelegt, dass im detektierten Gegenstand keine Messbare Erwärmung eintritt und auch keine magnetische Beeinflussung hervorgerufen wird.

Geschwindigkeitsmessung

Bei Vorversuchen eingesetzte Reedkontakte eines handelsüblichen Fahrradtachometers zur Geschwindigkeitsmessung mit einem Datenlogger führten aus verschiedenen Gründen nicht zum Erfolg. Daher wurde auf induktive Sensoren zurückgegriffen.

Bei der Geschwindigkeitsermittlung ist der induktive Näherungsschalter am Hinterrad des Fahrrades angebracht. Dies bedeutet allerdings, dass ein beim Bremsen blockierendes Hinterrad fälschlicherweise den Geschwindigkeitsmesswert 0 verursacht.

Als Signalgeber für die Näherungsschalter sind am Hinterrad M8 Sechskantschrauben in die Speichen geklemmt. Sie liefern ein eindeutiges Schaltsignal, wenn sie sich am Sensor vorbeibewegen. Es können durch die 36 Speichen pro Laufrad entweder ein, drei oder neun „Fahnen“ an den Speichen befestigt werden. Am Messfahrrad sind drei Schrauben montiert.

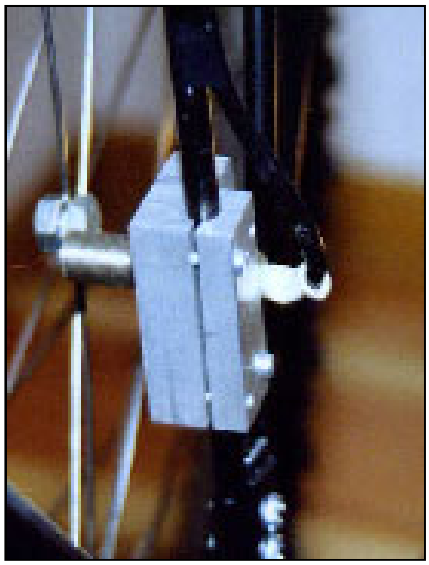

Bild 11: Induktiver Näherungsschalter zur Geschwindigkeitsmessung

Rechnung für die maximal zu erwartende Messfrequenz als Abbildungsgröße:

maximale Geschwindigkeit v = 60 km/h = 16.67 m/s

erfasste Frequenz f = (16,67 m/s · 3)/2,04 m = 24,51 Hz

Die maximale zu erwartende Frequenz beträgt 24,51 Hz.

Kalibrierung

Die Kalibrierung der inkrementalen Geschwindigkeitsmessung ist relativ einfach: Jede „Fahne“ liefert einen Impuls, man erhält damit 3 Impulse pro Umdrehung. Jeder Impuls entspricht damit einem Weg von Radumfang/3.

Tabelle 4: Kalibrierwerte der inkrementalen Geschwindigkeitsmessung

Kanal: DI1	Geschwindigkeit	
	Messgrösse v	Messsignal f
1. Wert : 2. Wert : Einheit :	0 10 km/h	0 245,1 1/min
Messbereich	von 0 km/h	bis 60 km/h

Trittfrequenzmessung

Bei der Ermittlung der Kurbelumdrehung ist der Sensor oberhalb des Tretlagers auf der Kettenstrebe befestigt. Das hat den Vorteil, dass der Näherungsschalter relativ geschützt vor eventuellen Beschädigungen ist. Allerdings befindet sich dort einer der am stärksten verschmutzenden Bereiche am Fahrrad. Der Sensor ist so montiert, dass er die Zähne des kleinen Kettenblattes abtastet. In diesem Bereich liegt die Kette nicht auf den Zähnen.

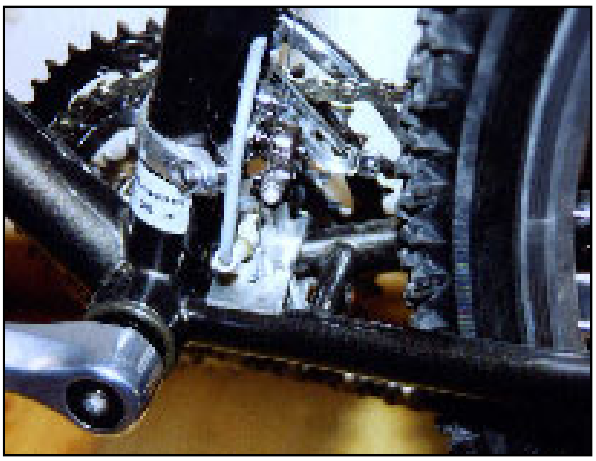

Bild 12: Induktiver Näherungsschalter zur Messung der Trittfrequenz

Berechnung der zu erwartenden maximalen Frequenz:

maximale Trittfrequenz
n = 200 min^{-1} = 3,334 s^{-1};
22 Zähne

$$f = 3{,}334\ s^{-1} \cdot 22 = 73{,}3\ Hz$$

Die maximale zu erwartende Frequenz ist 73,3 Hz.

Kalibrierung

Die Kalibrierung der inkrementalen Trittfrequenz ist einfach: Jeder Zahn des inneren Zahnrades liefert einen Impuls, man erhält damit 22 Impulse pro Umdrehung. Jeder Impuls entspricht damit einem 1/12 einer Umdrehung.

Tabelle 5: Kalibrierwerte der inkrementalen Trittfrequenzmessung

Kanal: DI2	Trittfrequenz	
	Messgrösse N	Messsignal f
1. Wert : 2. Wert : Einheit :	0 1 1/min	0 22 1/min
Messbereich	von 0 1/min	Bis 240 1/min

Anschlüsse der Sensoren an den Datenlogger

Beide induktive Näherungsschalter werden an die Platine 1 angeschlossen und zusätzlich mit einer Transistorschaltung mit dem Datenlogger verbunden.

Das Schema der Anschlüsse an der Platine 1 ist in Bild 13 dargestellt, die in der Elektronik-Werkstatt des FGA entwickelte Ansteuerschaltung ist in Bild 14 zu sehen.

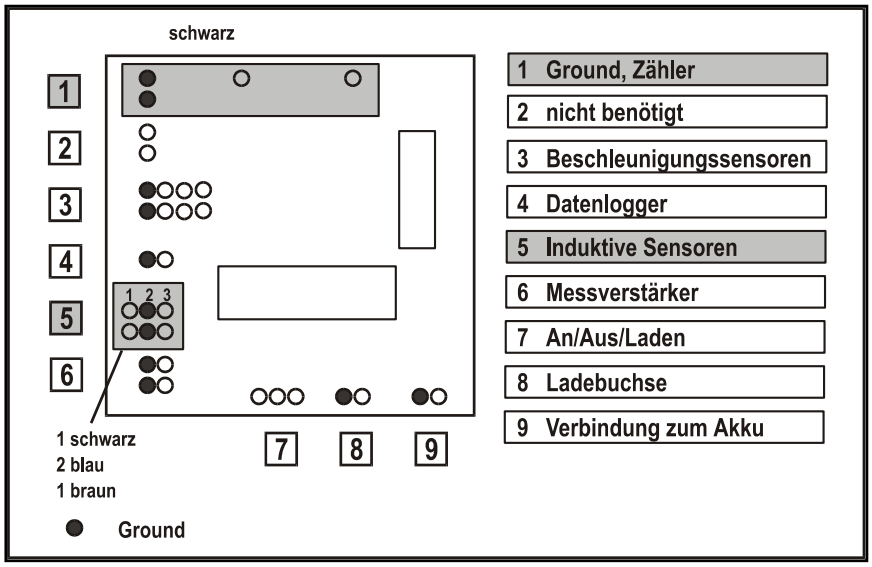

Bild 13: Anschlüsse der induktiven Näherungsschalter an Platine 1

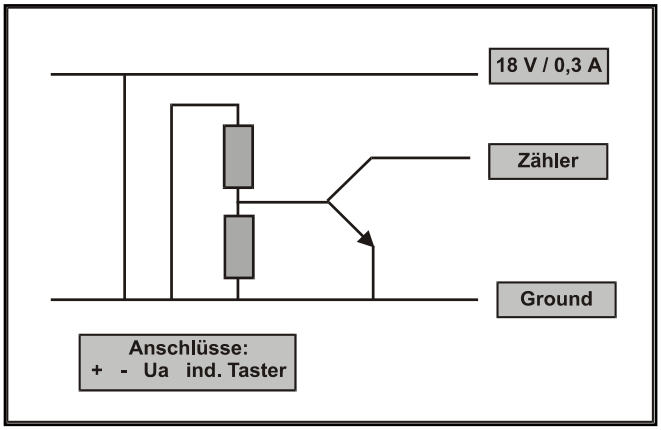

Bild 14: Transistorschaltung zum Anschluss der Näherungsschalter an den Datenlogger

III.3 Messung der Horizontal- und Vertikalbeschleunigung

Funktionsprinzip der kapazitiven Beschleunigungsaufnehmer Kistler 8304A(10)

Das zentrale Funktionselement jedes Beschleunigungs-Sensors ist eine seismische Masse, die federnd aufgehängt ist. Sie wird durch die zu messende Beschleunigung aus ihrer Ruhelage ausgelenkt.

Die seismische Masse und ihre federnde Aufhängung werden durch beidseitiges, anisotropes Ätzen aus einem Silizium-Wafer herausgearbeitet. Sie bildet die bewegliche, gemeinsame Mittelelektrode zweier Kondensatoren. Die beiden feststehenden Außenelektroden bestehen aus vollen Silizium-Plättchen mit aufgedampften Leiterflächen. Diese sind mit dem Träger der Mittelelektrode durch je eine Glasschicht anodisch verbunden, die gleichzeitig als elektrische Isolation dient.

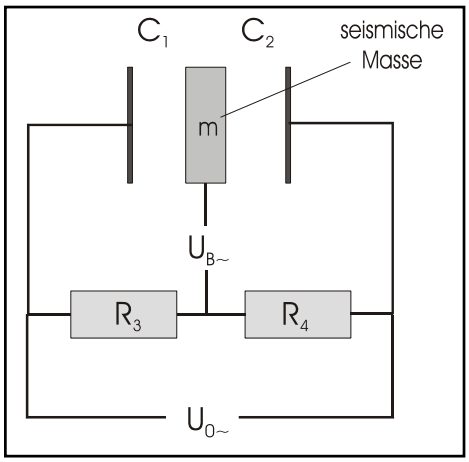

Bild 15: Kapazitive Halbbrücke mit seismischer Masse

Die beiden Kondensatoren stellen zusammen mit zwei Festwiderständen eine kapazitive Halbbrücke dar, die mit einer Trägerfrequenz von 200 kHz versorgt wird.

Befindet sich die Masse genau in der Mitte, ist das Ausgangssignal aus Symmetriegründen Null. Dies ist nur dann der Fall, wenn keine Beschleunigung bzw. keine Gewichts- oder Trägheitskraft auf die Masse wirkt. Die seismische Masse befindet sich in Ruhe und steht senkrecht im Schwerefeld Sobald sie jedoch beschleunigt und dadurch ausgelenkt wird, verstimmt sich die Halbbrücke und das Ausgangssignal ist nun ein Maß für die Beschleunigung (Gewichts- oder Trägheitskraft). Ein mit der Trägerfrequenz synchronisierter Demodulator und ein nachgeschaltetes Tiefpassfilter wandeln das Ausgangssignal der Halbdrücke in eine beschleunigungs-proportionale Spannung um.

Im Gegensatz zu piezoelektrischen Beschleunigungsaufnehmern können K-BEAM-Beschleunigungssensoren auch Gewichtskräfte und damit die Fallbeschleunigung g messen. Daher ist die Fallbeschleunigung („Erdanziehungskraft") immer im Ausgangssignal enthalten, je nach Lage des Sensors im Raum. Die empfindliche Achse ist senkrecht zum Sensorgehäuse gerichtet. Liegt der Sensor horizontal, zeigt er die Fallbeschleunigung von 1 g an. Steht er vertikal, ist das Ausgangssignal Null. Wird der Sensor aus der vertikalen in die horizontale Lage gedreht, so ist das Ausgangssignal ~ $\sin\alpha \cdot g$, wenn α der Winkel der Montagefläche des Sensors zu einer vertikalen ist. Der Sensor kann daher auch als (nichtlinearer) Neigungsmesser benutzt werden.

Bild 16: Beschleunigungssensoren Kistler 8304 montiert an einer Spezialhalterung

Elektrische Anforderungen

Die Adernbelegung des Beschleunigungsaufnehmers findet man in Tabelle 6.

Tabelle 6: Adernbelegung der Kistler-Beschleunigungsaufnehmer 8304A

Farbe	Belegung
Weiß	Signal
Gelb	Signal Erde
Rot	Speisung: (9... 18V DC)
Schwarz	Speisung: Erde
Mantelgeflecht	Abschirmung

Der Sensor benötigt eine Speisung von 9... 18 V Gleichspannung. Diese muß auf ± 0,1% des gewählten Wertes stabilisiert sein. Welligkeit und Rauschen dürfen 1,5 mV Eflektivwert nicht überschreiten. Der Beschleunigungssensor 8304 kann mit einer Transistorradiobatterie von 9 Volt (alkalisch) für eine Dauer von mindestens 20 Stunden gespeist werden.

Kalibrierung

KlSTLER Beschleunigungs-Sensoren werden nach Richtlinien des National Institute of Standards and Technology (NIST), USA, kalibriert. Die Empfindlichkeit eines K-BEAM-Systems liegt innerhalb ±5 % der angegebenen Nennempfindlichkeit. Die Elektronik ist mit einer Temperaturkompensation versehen, was die Stabilität des Nullpunktes und der Empfindlichkeit gewährleistet.

Tabelle 7: Die wichtigsten Kennwerte der beiden zur Verfügung stehenden Beschleunigungssensoren

Sensor 1:	Sensor 2:
Nr. 8304 B 10 / SN C 108367	Nr. 8304 B 10 / SN C 108368
Empfindlichkeit: 194 mV/g	Empfindlichkeit: 193 mV/g
Eigenfrequenz: 3,0 kHz	Eigenfrequenz: 3,0 kHz
Temperaturbereich: -40 +85 °C	Temperaturbereich: -40 +85 °C

Es ist zu beachten, dass die beiden Beschleunigungssensoren unterschiedliche Werte für die Empfindlichkeit besitzen.

Tabelle 8: Kalibrierwerte der inkrementalen Trittfrequenzmessung

Kanal: A5/6	Beschleunigung 1 (vertikal)	Kanal A5	Beschleunigung 2 (horizontal)	Kanal A6
	Messgrösse	Messsignal	Messgrösse	Messsignal
1. Wert :	0	2,465	0	2,482
2. Wert :	1	2,649	1	2,675
Einheit :	g (≡9,81 m/s^2)	V	g (≡9,81 m/s^2)	V
Messbereich	von 0 g	bis 10 g	von 0 g	bis 10 g

Hinweis:

Schocks mit kurzen lmpulsbreiten, wie sie beim Fallenlassen von Beschleunigungs-Sensoren auf eine harte Oberfläche oder bei einem Schlag mit einem Werkzeug auftreten, sind zu vermeiden. Ein Fallenlassen der Beschleunigungs-Sensoren aus einer Höhe von lediglich 15 cm auf eine harte Oberfläche kann eine Beschleunigungsspitze von mehr als 2OOO g ergeben und zur Zerstörung des Sensors führen!

Zusätzlich sind folgende Punkte zu beachten:

- Die Beschleunigungs-Sensoren dürfen nicht auf Oberflächen montiert werden, die unter hohen mechanischen Spannungen stehen.
- Die angegebene maximale Versorgungsspannung darf nicht überschritten werden.
- Die Befestigungsschrauben sind höchstens mit dem empfohlenen Drehmoment von 0,7 Nm festzuziehen.
- Der Sensor darf keiner übermäßig großen Beschleunigungsspitze ausgesetzt werden.
- Bei Nichtgebrauch des Beschleunigungs-Sensors sollte die Kunststoftschutzhaube angebracht werden.

Montage und Positionierung

Es bestehen mehrere Möglichkeiten, die Sensoren am Fahrrad zu positionieren.

- Messung oberhalb des Tretlagers in drei Richtungen möglich (horizontale, vertikale und seitliche Beschleunigungen, siehe Bild 16).
- Messung am Vorbau in zwei Richtungen (horizontal und vertikal). Klemmung bei A-Headset-Vorbauten innerhalb des Deckels und bei Standard-Vorbauten am Schaft.
- Bei vollgefederten Mountainbikes Messung an der Sattelstütze.

III.4 Messung der Biegekräfte und Torsionsmomente mit DMS

III.4.1 Dehnungsmessstreifen (DMS)

Ein bewährtes und unkompliziertes Verfahren zur Messung mechanischer Kräfte und Momente ist die Erfassung der Materialdehnung an den Bauteiloberflächen mit Dehnungsmessstreifen (DMS), die an den zu untersuchenden Messstellen fest auf die Oberfläche geklebt werden. Die DMS wandeln eine mechanische Messgrösse in eine elektrische Abbildungsgrösse, ihre ohmschen Widerstände ändern sich proportional zur mechanischen Dehnung am Messort.

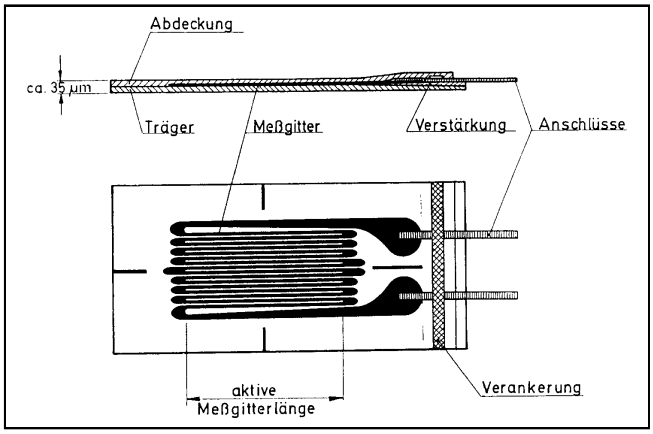

Bild 17: Dehnungsmessstreifen in der Ausführungsform eines Folien-DMS

Der Proportionalitätsfaktor ergibt sich aus dem verwendeten Material, aus dem der DMS gefertigt ist, so dass von der Messung des DMS-Widerstands bzw. der DMS-Widerstandsänderung auf die Verformung des Bauteils geschlossen werden kann. Messbrückenschaltungen erlauben die selektive Erfassung von Biege-, Normalkraft- und Torsionsverformung eines Bauteils. Aus dem Elastizitätsmodul E des Werkstoffs und den Querschnittsflächen bzw. Flächenmomenten der Bauteile lassen sich die gemessenen Dehnungen zunächst die mechanische Spannung σ und dann die Schnittgrössen Normalkraft bzw. Biegemoment berechnen. Die Messung liefert neben den Belastungsgrössen auch die Beanspruchungsgrössen.

In der messtechnischen Praxis werden überwiegend DMS mit einem Widerstand von 120 Ω eingesetzt. Gegenüber DMS mit 350 Ω ergeben sich allerdings einige Nachteile. Zum einen ist bei gegebener Versorgungsspannung der Versorgungsstrom größer, was bei dem gegebenen Messsystem mit seinen Batterien die Messzeit verkürzt. Zum anderen führt ein größerer Strom zu einer stärkeren Erwärmung der DMS und damit zu einer möglichen Drift der Messwerte. Die Messgenauigkeit verkleinert sich, da Leitungs- und Kontaktwiderstände das Messsignal stärker beeinflussen.

Für das Messfahrrad würden zunächst für Stahl geeignete DMS mit 120 Ω beschafft. Um nicht für DMS, die auf Aluminium appliziert wurden, gesonderte Brückenschaltungen mit 350 Ω-Ergänzungswiderständen bauen zu müssen, besitzen diese DMS ebenfalls einen Nenn-Widerstand von 120 Ω. Für die Torsionsmessungen dagegen wurden Alu-DMS mit 350 Ω eingesetzt.

III.4.2 Messverstärker AE 101

Der AE 101 ist ein DC-Messverstärker für DMS-Messbrücken der Genauigkeitsklasse 0,1. Die Genauigkeitsklassen ist abhängig von der Abweichung der eingebauten Widerstände. In diesem Fall beträgt diese 0,1 %. Die Einstellung des Messverstärkers erfolgt mit Schaltern, Potentiometern bzw. Drahtbrücken, die nach dem Öffnen des Schutzdeckels sichtbar sind. Eine genaue Angabe über die Position der jeweiligen Schalter findet man in der Beschreibung des Messverstärkers in der Montageanleitung der Firma HBM.

Anschlußart

Der Aufnehmeranschluß erfolgt standardmäßig in 6- Leitertechnik (mit zwei Fühlerleitungen). Im vorliegenden Messsystem wird jedoch mit einer 4-Leiterschaltung gearbeitet, so dass die Klemmen 2 und 2' bzw. 3 und 3' mit Drahtbrücken verbunden sind.

Brückenspeisespannung

Der Messverstärker kann in Abhängigkeit vom DMS-Widerstandswert mit dem Schalter S26 auf die unterschiedliche Werte der Brückenspeisespannung V_E umgestellt werden. Beim Messfahrrad ist ein Wert von $V_E = 2{,}5$ V eingestellt.

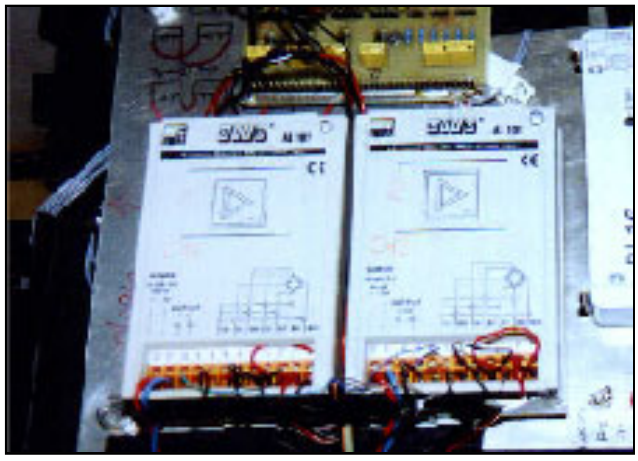

Bild 18: DC-Messverstärker für DMS-Voll- und Halbbrücken in der Box des Messfahrrads

Messfrequenzbereich

Der Messfrequenzbereich wird von einem einstellbaren Tiefpassfilter begrenzt. Die Grenzfrequenz dieses Filters ist mit dem Schalter S28 auf die Werte 10 Hz oder 6 kHz einstellbar.

Nennmessbereich:

Der Eingangskennwert des Verstärkers wird auch Nennmessbereich genannt, der zunächst mit dem eigentlichen physikalischen Messbereich wenig zu tun hat. Der Nennmessbereich des Verstärkers wird mit dem Mehrfach-Schiebeschalter S21 eingestellt.

Dabei wird in Abhängigkeit vom Eingangskennwert in mV/V die Verstärkung so angepasst, dass die Ausgangsspannung des Messverstärkers immer 10 V beträgt.

Tabelle 9 enthält die mit dem Schalter S21 einstellbaren Nennmessbereiche und die damit verbundenen Verstärkungsfaktoren.

Tabelle 9: Am Schalter S21 einstellbare Nennmessbereiche (Eingangskennwerte)

AE 101

V_E=2,5 0V

mV/V	1	2	3	4	5	6	7	8	Verstärkung
0,34-0,48	X						X		8333...11765
0,44-0,64	X							X	6250...9090
0,60-0,84		X					X		4762...6666
0,78-1,10		X						X	3636...5128
1,04-1,46			X				X		2740...3846
1,36-1,94			X					X	2061...2941
1,80-2,56				X			X		1562...2222
2,36-3,38				X				X	1183...1695
3,12-4,46					X		X		896...1282
4,14-5,88					X			X	680...966
5,46-7,76						X	X		515...732
7,22-10,26						X		X	390...554

Beispiel:

Mit den Einzelschaltern 6 und 7 von S21 wird ein Bereich des Nennmessbereichs von 5,46 mV/V bis 7,76 mV/V eingestellt. Diese Werte müssen noch mit der Versorgungsspannung V_E multipliziert werden.

Am Eingang des Verstärkers liegt damit maximal eine Spannung im Bereich von

$U_e = 5{,}46\ mV/V \cdot 2{,}5\ V = 13{,}65\ mV$ *bis* $U_e = 7{,}76\ mV/V \cdot 2{,}5\ V = 19{,}4\ mV$

Durch den Verstärker werden beide maximal möglichen Eingangsspannungen in eine Ausgangsspannung von 10 V verstärkt. Dies bedeutet Verstärkungen von jeweils

k=10 000 mV / 13,65 mV = 732 bis k=10 000 mV / 19,4 mV = 515

Der genaue Wert des Nennmessbereichs bzw. des Verstärkungsfaktors ist in den obengenannten Grenzen mit dem verstellbaren Potentiometer P22 einzustellen.

Kalibriersignal 0,2 mV/V

Die reale Verstärkung kann auch durch ein additives Kalibriersignal (0,2 mV/V, Schalter S25 auf CAL) bestimmt werden. In diesem Fall wird die Änderung der Messspannung durch Änderung der Messgröße durch die zusätzliche additive Kalibrierspannung ersetzt. **Es muss allerdings auf andere Weise ermittelt werden, bei welcher Änderung der physikalischen Messgröße die Messbrücke eine um 0,2 mV pro 1V Versorgungsspannung erhöhte Brückenspannung liefert**.

Berechnungsbeispiel für ein additives Kalibriersignal von 0,2 mV/V:

Die Verstärkung ist definiert als $k = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_e}$

Die Eingangsspannung am Verstärker erhöht sich durch ein additives Kalibriersignal um

$$\Delta U_e = 0{,}2\frac{mV}{V} \cdot 2{,}5V = 0{,}5mV$$

Durch das Kalibriersignal stellt sich am Ausgang die Spannung $U_{a+0,2}$ ein. Damit erhält man eine Erhöhung der Ausgangsspannung um $\Delta U_a = U_{a\,+\,0,2} - U_a$

Man misst *zum Beispiel* am Ausgang folgende Spannungen:

- ohne Kalibriersignal: U_a=2,35 V
- mit Kalibriersignal: $U_{a0,2}$=2,54 V

Damit erhält man *bei diesem Beispiel* die Verstärkung $k = \frac{2{,}54V - 2{,}35V}{0{,}5 \cdot 10^{-3}V} = 380$

Nach erfolgter Kalibrierung muss Schalter S25 von CAL auf MEAS gestellt werden.

III.4.3 Kräfte am Lenker

Folgende Schnittgröße kann ermittelt werden:

- Biegung aus eingeleiteter Kraft- horizontal/vertikal (DMS L1, L2, L2, L4)

Am Lenker wurden auf der rechten Lenkerseite zwei DMS-Halbbrücken zur Messung der horizontalen und vertikalen Kräfte appliziert. Die DMS sind dabei so geschaltet, dass die Biegung des Lenkers durch Krafteinleitung eine Verstimmung der DMS-Messbrücke verursacht. Das einfachste Kalibrierverfahren für die DMS-Brücken am Lenker besteht darin, auf jeder Seite Gewichte an die Lenkerenden zu hängen. Dabei entsteht das größte Biegemoment. Beim Fahrradfahren erfolgt die Krafteinleitung jedoch meist in Griffmitte und nicht an den Lenkerenden. Am Messfahrrad ist zudem eine Gripshift-Schaltung montiert (Griffbreite 130 mm). Nimmt man jetzt an, dass die Kraft in der Mitte der Handfläche in den Lenker eingeleitet wird und die durchschnittliche Handbreite 80 bis 90 mm beträgt, dann liegt der Punkt der Krafteinleitung 40 mm vom Griffende entfernt. Die Krafteinleitung an der genauen Handposition erhöht die Genauigkeit der Kalibrierung. Um eine Torsion des Vorbaus zu vermeiden, sollte auf beiden Lenkerhälften im gleichen Abstand zur Einspannung die Kalibrierkraft eingeleitet werden. Das hat zusätzlich den Vorteil, dass der Lenker mit Vorderrad nicht umschlägt.

Bild 19: Lenker mit DMS

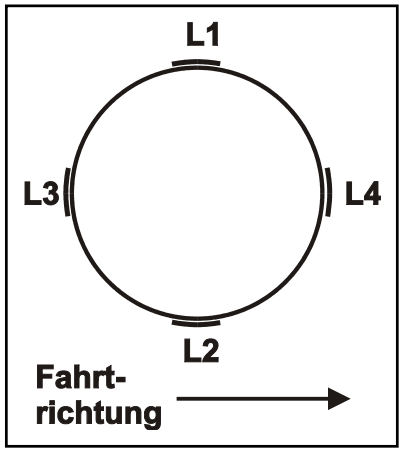

Bild 20: Position der DMS am Lenker

Einen sinnvollen Bereich für die Lenkerkalibrierung findet man in den Prüfvorschriften der DIN 79100 Teil 2 und der Dissertation von Eric Gross. Die DIN 79100 Teil 2 sieht ein statisches Prüfgewicht von 600 N im Abstand von 50 mm vom Lenkerende vor. Bei der dynamischen Prüfung liegt die Belastung bei ±330 N bei 300.000 Lastwechseln.

Die zu erwarteten Belastungen am Lenker liegen bei Geländefahrten

- in horizontaler Richtung bei -280/+350 N und
- in vertikaler Richtung bei -480/+450 N.

Die Hauptrichtungen der resultierenden Kräfte liegen bei Geländefahrten im Durchschnitt (siehe Bild 21)

- beim Ziehen am Lenker in einem Winkel von 50° zur Ausrichtung des Lenkers und
- beim Abstützen auf dem Lenker in einem Winkel von 245°.

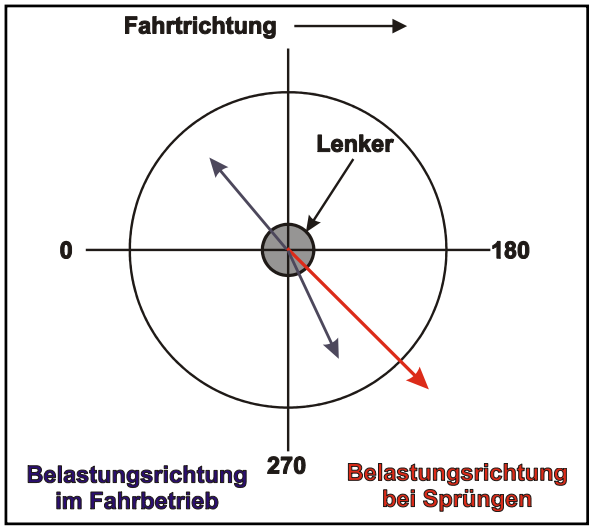

Bild 21: Kraftrichtungen am Lenker

Extremwerte wie z.B. bei Sprüngen mit Landung auf dem Vorderrad führen allerdings zu Kräften von -500/+900 N in horizontaler Richtung und von -850/+660 N in vertikaler Richtung, so dass die daraus resultierende Kraft deutlich über 1000 N beträgt. Die Kraftrichtung ist hierbei 225° [1].

Um in einem sinnvollen Messbereich zu kalibrieren, sollten die maximalen Gewichtskräfte jeweils 250 N betragen. Hierfür stehen zwei Eisengewichte von 25,1 und 25,5 kg zu Verfügung.

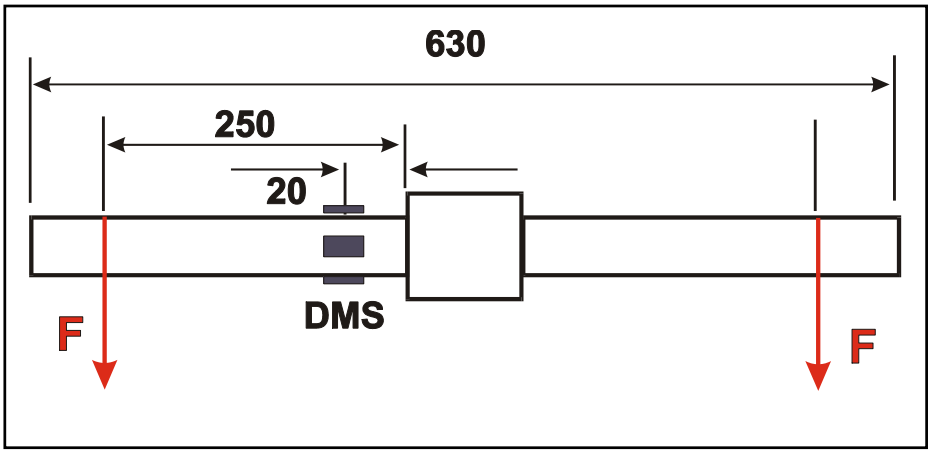

Bild 22: Lenker mit eingeleiteten Kalibrierkräften

Vorgehensweise beim Kalibrieren:

1. Verstimmung der Brückendiagonalspannung auf Platine 2 abgleichen (d.h.auf 0 Volt stellen). Die Beschreibung dazu findet man in Abschnitt II.4.
2. Am Verstärker die Ausgangsspannung mit Drehschalter S23 und Poti P21 auf einen Wert von ca. 2,5 V einstellen, da der Datenlogger am Eingang nur positive Spannungen erfassen kann.
3. Verstärkung so auswählen, dass kein Übersprechen entsteht und der gesamte Verstärkungsbereich ausgenutzt werden kann (Einleitung der Gewichtskraft).
4. Krafteinleitungspunkt an den Lenkergriffen wählen.
5. Gewichtskräfte aufbringen und die Spannungen am Brückenausgang messen.

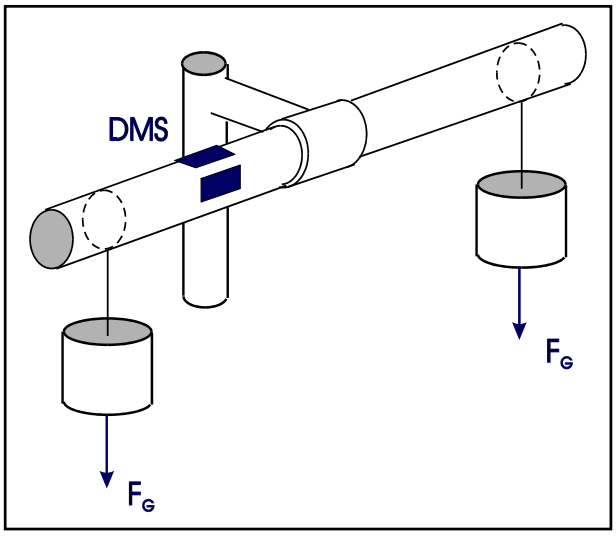

Bild 23: Kalibrierung der DMS-Messbrücke am Lenker mit Kalibriergewichten (schematische Darstellung)

Um die horizontalen Kräfte messen zu können, ist beim Kalibrieren der Messstelle einfach der Lenker um eine viertel Umdrehung weiterzudrehen. Dabei ist die Lenkerklemmung am Vorbau zu lösen. Zu beachten ist, dass der Lenker einen Winkel von ca. 5 ° nach hinten hat. Es ist günstiger, wenn diese Biegung nach oben zeigt und durch die Krafteinleitung wieder „gerade“ gedehnt wird. An der Vorgehensweise ändert sich nichts. Nach diesem Vorgang muss der Lenker natürlich in die Ausgangsposition zurückgedreht und fixiert werden.

Tabelle 10: Kalibriertabelle zur Kalibrierung der Messbrücke am Lenker:

Belastungsermittlung nur für eine Seite des Lenkers.

	Vertikal				horizontal			
Nr.	Gewicht in [kg]	Kraft in [N]	Spannung U_a in [V]		Nr.	Gewicht in [kg]	Kraft in [N]	Spannung U_a in [V]
1	-	-	2,52		1	-	-	2,39
2	8,5	83,4	2,10		2	8,5	83,4	2,86
3	12	117,7	1,94		3	12	117,7	3,06
4	25,5	250,2	1,31		4	25,5	250,2	3,75

Wie aus dem Diagramm KL1 zu entnehmen ist, verläuft der Graph linear und es kann auf eine Korrektur eventueller Linearitätsfehler verzichtet werden.

III.4.4 Kräfte und Momente am Lenkervorbau

Folgende Schnittgrößen können ermittelt werden:

- Torsionsmoment (DMS VT1, VT2)
- Biegung aus eingeleiteter Kraft aus dem Lenker (DMS V1, V2)

Beim Lenkervorbau ist das Torsionsmoment in Fahrtrichtung die maßgebliche Dimensionierungsgröße. Dieses Moment entsteht vornehmlich im Wiegetritt. An einer Seite des Vorbaus ist der Torsions-DMS appliziert. Dieser spezielle DMS besteht wiederum aus zwei DMS, die so appliziert sind, dass sie die Torsionsdehnung aufnehmen können, d.h., sie sind um 45 ° gegen die normalen Standard-DMS verdreht. Es wurde darauf geachtet, dass diese DMS tangential appliziert wurden, da die Torsion am Umfang konstant ist.

Reine Torsion tritt nahezu nie allein auf, da sie meistens durch einseitige Krafteinwirkung erzeugt wird. Um die zusätzliche Biegung aufnehmen zu können, sind DMS auf der Ober- und Unterseite appliziert worden.

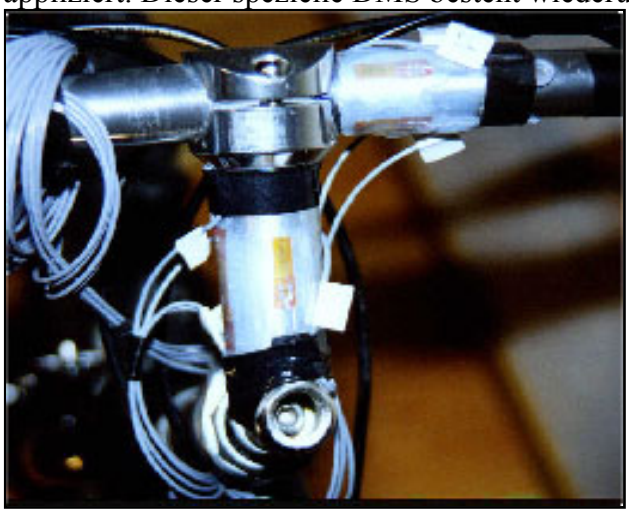

Bild 24: Vorbau mit Lenker

Kalibrierung:

Die DMS-Messbrücken am Vorbau werden am besten im eingebauten Zustand kalibriert. Durch Anhängen des Kalibriergewichtes auf einer Seite des Lenkers wird ein Torsionsmoment erzeugt. Es ist darauf zu achten, dass sich dabei das Vorderrad nicht verdreht. Die entstehende Verbiegung des Vorbaus hat keinen Einfluss auf die Torsionsmesswerte, da die DMS genau auf der neutralen Faser appliziert wurden. Seitliche Biegungen, die durch Lenkbewegungen auftreten, können vernachlässigt werden.

Die Norm DIN 79100 Teil 2 sieht eine statische Prüfung mit einer Kraft von 600 N mit einem Hebelarm von 250 mm vor. Zusätzlich ist eine Stoßprüfung und eine dynamische Prüfung mit einem Lastwechsel von ±660 N und einer Zahl von 300.000 Lastspielen durchzuführen. Diese Kraft entspricht einem Moment von ±165 Nm. Die maximalen Momente im Wiegetritt liegen bei trainierten Fahrern bei ±120 Nm. Höhere Momente werden auch bei Mountainbikes im schweren Gelände nicht ermittelt [1].

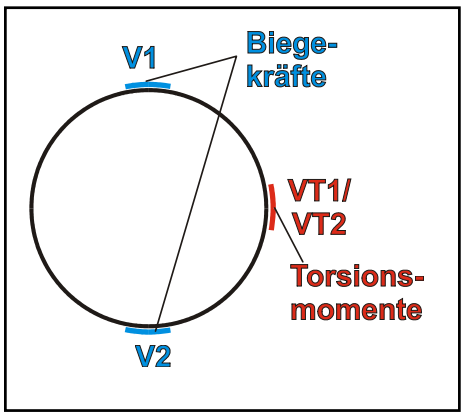

Bild 25: DMS zur Messung der Biegekräfte am Lenkervorbau (Blick von vorn)

Die Richtung der resultierenden Kräfte beim Lenker liegen in einem Winkel von 90° zur Vorbauneigung. Dieser Umstand ermöglicht es, von der Biegung des Vorbaus in guter Näherung auf die eingeleiteten Kräfte des Lenkers zu schließen. Um den Vorbau in eine waagerechte Lage zu bringen, ist es möglich, das Hinterrad aufzubocken. Die Kalibrierkräfte sind dann in der Lenkerklemmung einzuleiten. Eine weitere Möglichkeit ist es, den Vorbau zu demontieren und in der Einspannvorrichtung im Schraubstock einzuspannen.

Die wichtigsten Daten der Kalibrierung:

Lenkerbreite: 560 mm
Maximaler Hebelarm: 270 mm
Kalibriergewicht: 25,5 kg

Maximales Moment: 67,54 Nm

Tabelle 11: Kalibriertabelle zur Kalibrierung der Messbrücke am Lenkervorbau:

Torsion					Biegung			
Nr.	Gewicht in [kg]	Kraft in [N]	Spannung U_a in [V]		Nr.	Gewicht in [kg]	Kraft in [N]	Spannung U_a in [V]
1	-	-	2,81		1	-	-	2,63
2	8,5	83,4	2,46		2	25,5	250,2	3,01
3	25,5	250,2	1,75		3	50,6	496,4	3,76

III.4.5 Kräfte und Biegungen an der Sattelstütze

Folgende Schnittgrößen können ermittelt werden:

- Normalkraft (DMS N1, N2)
- Biegung in der Rahmenebene
  Längsbiegung (DMS BE1, BE2)
- Biegung quer zur Fahrtrichtung
  Querbiegung (DMS BS1, BS2)

Bild 26: Sattelstütze mit DMS

An der Sattelstütze sind die DMS, die die Biegung des Sattelrohrs aufnehmen, direkt oberhalb der Einspannung appliziert. Dort ist das Biegemoment am größten und daraus folgt auch die höchste Dehnung an der Oberfläche. Für die Normalkraftermittlung hingegen ist ein DMS-Paar im oberen Bereich appliziert, da dort eine geringere Dehnung aus der Biegung die Messung weniger beeinflusst.

Die zu erwartenden Maxima der dynamischen Belastungen im Fahrbetrieb liegen etwa um einen Faktor 3 bis 4 oberhalb der statischen Belastung. Die nachfolgenden Werte können als Maximalbelastungen angesehen werden [1]:

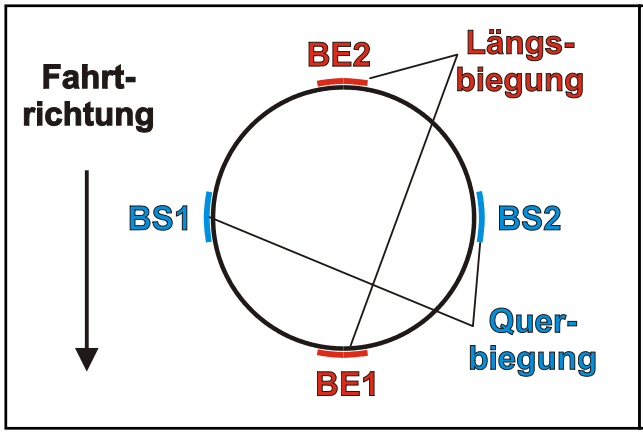

Bild 27: Position der DMS am Sattelrohr oberhalb der Einspannung zur Messung der Biegekräfte

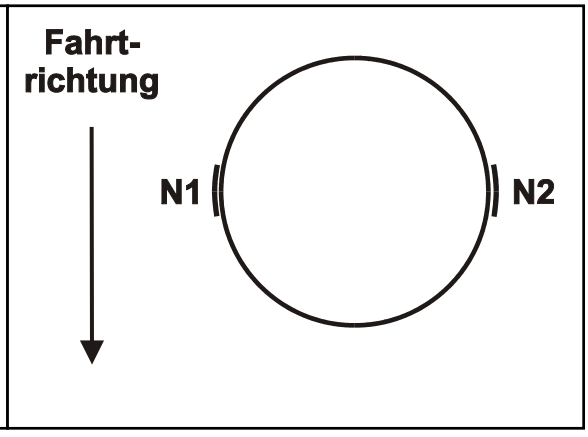

Bild 28: Position der DMS am Sattelrohr im oberen Bereich zur Messung der Normalkräfte

N_{max}: 1700 N
M_S: 42 Nm quer zur Fahrtrichtung
M_E: 430 Nm in Fahrtrichtung

Die Norm DIN 79100 Teil 2 sieht eine dynamische Prüfung mit einer Kraft von 450 N ±560 N in einem Abstand von 70 mm zur Satteleinspannung vor. Bei dieser Sattelstütze würde das ein Biegemoment von 93 Nm ergeben. Die Zahl der Lastspiele beträgt dabei n = 300 000.

Kalibrierung:

Die Sattelstütze wird im Schraubstock in eine spezielle Vorichtung waagerecht eingespannt. An einer definierten Stelle werden die Kalibriergewichte eingehängt. Die Kraft mit dem dazugehörigen Hebelarm ist bekannt, und daraus ist das wirkende Biegemoment zu ermitteln.

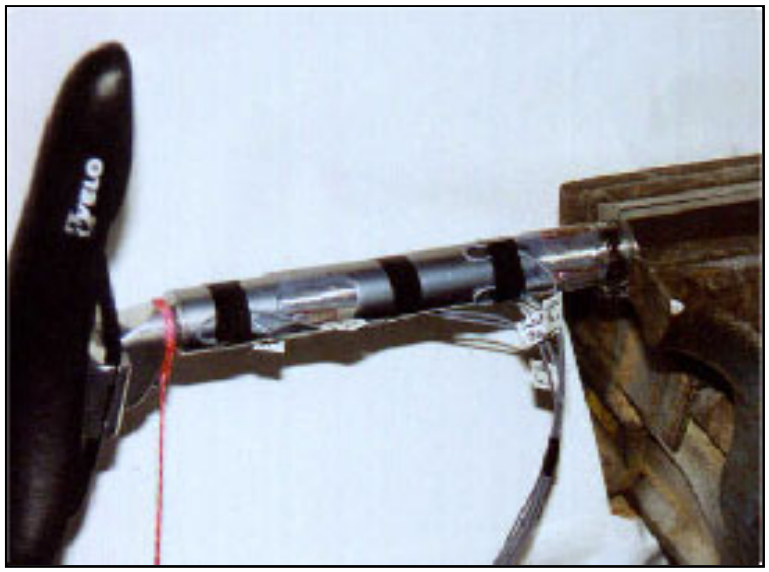

Bild 29: Kalibrierung der Sattelstütze

Zur Kontrolle, ob das absolute Biegemoment gemessen wird, kann die zweite Messstelle um 90° gedreht herangezogen werden. Die Werte dürfen sich in diesem Fall nicht verändern. Die Normalkraft kann durch Auflegen der Gewichte in vertikaler Richtung kalibriert werden.

Einen großen Einfluß auf die dynamischen Messwerte hat der Fülldruck der Reifen. Die größten Maxima sind bei hart aufgepumpten Reifen zu erwarten, da die Schläge ungedämpft an das Material weitergeleitet werden. Außerdem ist das Fahrvermögen des Fahrers ausschlaggebend, da Überbelastungen durch eine inaktive Fahrweise auftreten können.

Die Gepäckträgerbox ist nur bei verdrehtem Sattel ganz zu öffnen. Aus diesem Grund ist die Sattelstützenklemmung am Rahmen durch einem Schnellspanner gewährleistet. Ein Schlauchbinder sichert die Messstellen vor eventuellen Beschädigungen. Um die DMS trotz dieser Vorsichtsmaßnahme nicht abzuscheren, muß die korrekte Klemmung vor jeder Benutzung kontrolliert werden.

Tabelle 12: Kalibriertabelle zur Kalibrierung der Messbrücken an der Sattelstütze:

in Fahrtrichtung					quer zur Fahrtrichtung			
Nr.	Gewicht in [kg]	Kraft in [N]	Spannung U_a in [V]		Nr.	Gewicht in [kg]	Kraft in [N]	Spannung U_a in [V]
1	-	-	2,53		1	-	-	2,68
2	8,5	83,4	2,91		2	8,5	83,4	3,07
3	25,5	250,2	3,66		3	25,5	250,2	3,81

III.4.6 Kräfte an der ungefederte Gabel

Folgende Schnittgrößen können ermittelt werden:

- Normalkraft (DMS B3, B4)
- Biegung in der Rahmenebene (DMS B1, B2)
- Biegung quer zur Fahrtrichtung (DMS B3, B4)

Bild 30: Ungefederte Gabel mit DMS

Fahrradgabeln werden im Fahrbetrieb in erster Linie durch Biegung beansprucht. Bei starren Gabeln ist ein häufig zu beobachtender Schaden das Verbiegen der Gabel in oder entgegen der Fahrtrichtung. Das größte Biegemoment entsteht unterhalb der Gabelkrone. Auf der rechten Gabelseite oberhalb der Bremssockel sind die DMS appliziert worden.

Um die Normalkraft zu ermitteln, ist es möglich, an dieser Messstelle einfach ein DMS-Paar auf Zug- und Druckmessung zu schalten (siehe II.4, Bilder 8 und 9). Dafür eignen sich die DMS B3 und B4 für die seitliche Krafter-mittlung, da die geringere Dehnung der Gabel in dieser Achse zu erwarten ist.

Die DIN 79100 Teil 2 sieht eine statische und dynamische Prüfung der Vorderradgabel vor. Bei der statische Prüfung wird die Gabel im umgedrehten Zustand mit einem Vorderrad und einer Kraft von 650 N, die am Reifen eingeleitet wird, belastet. Die dynamische Prüfung erfolgt im senkrechten Zustand und die Kraft von 250 N ±480 N wird waagerecht in die Achsaufnahme eingeleitet.

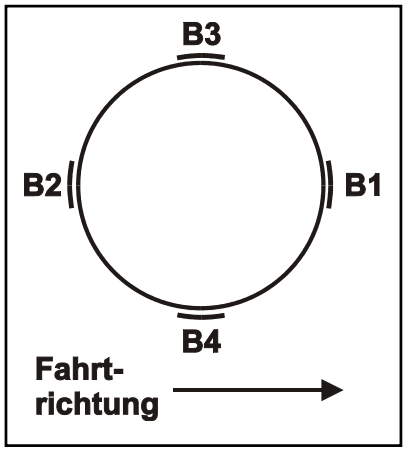

Bild 31:Position der DMS an der ungefederten Gabel

Für Mountainbikes im Geländeeinsatz sind die Belastungen in der horizontalen Richtung bei -600 N bis +725 N zu erwarten. Der betragsmäßig große negative Wert ist auf Sprünge zurückzuführen, da bei der Landung die Gabel aufgrund des Lenkwinkels (71°) nach vorne gedrückt wird. Die seitlichen Kräfte entstehen beim Anfahren im Wiegetritt und betragen bis zu ± 250 N. Im Gelänge mit stark wechselnden Radlasten können nach Sprüngen oder beim starken Anbremsen in einer Kurve mit Bodenunebenheiten Kräfte bis zu 600 N auftreten [1].

Kalibrierung:

Das Kalibrieren der Messstellen erfolgt, indem die Gabel in eine spezielle Vorichtung im Schraubstock eingespannt wird und die Krafteinleitung in der Achsaufnahme erfolgt. Die Gewichte werden nur auf einer Seite eingehängt. Das reduziert das maximale Gewicht um die Hälfte, da die gesamte Gabel mit mindestens 500 N kalibriert werden muß.

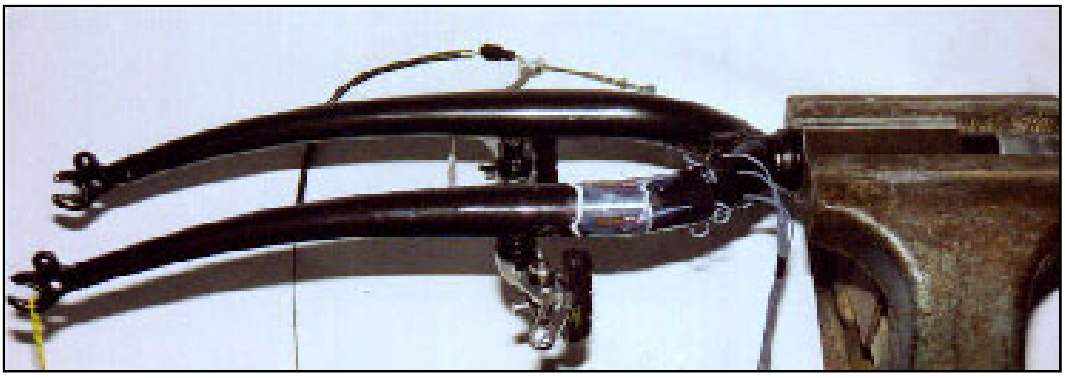

Bild 32: Kalibrierung der DMS-Messbrücke an der ungefederten Gabel

Eine Messung der Normalkräfte in der Gabel zur Ermittlung der Radaufstandskräfte läßt sich nur schwer verwirklichen, da die durch die Biegung erzeugten Dehnungen den DMS beeinflußt.

Tabelle 13: Kalibriertabelle für die Messbrücken an der ungefederten Gabel:

in Fahrtrichtung					quer zur Fahrtrichtung			
Nr.	Gewicht in [kg]	Kraft in [N]	Spannung U_a in [V]		Nr.	Gewicht in [kg]	Kraft in [N]	Spannung U_a in [V]
1	-	-	2,50		1	-	-	2,63
2	8,5	83,4	2,22		2	8,5	83,4	2,21
3	25,5	250,2	1,72		3	25,5	250,2	1,42

III.4.7 Kräfte am Rahmen

Der Rahmen ist das wichtigste Bauteil, für das Belastungen ermittelt werden können. Die auf den Rahmen wirkenden Lasten sind allerdings sehr komplex. Da es nicht einfach ist, den Komponenten eindeutig eine Last zuzuordnen, sind nachfolgend die quantifizierbaren Lasten aufgezählt.

Bild 33: Messung der Kräfte am Rahmen mit DMS

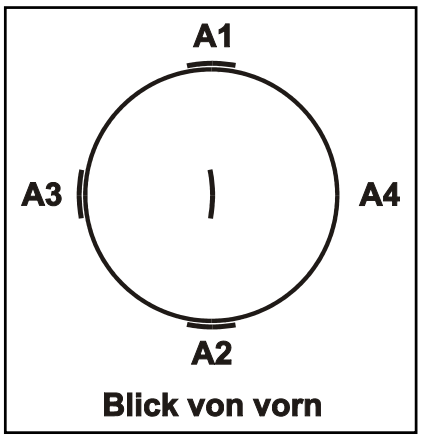

Bild 34: Positionen der DMS am Rahmen

Als Krafteinleitungsstellen kommen lediglich in Betracht

- das Steuerrohr,
- die Ausfallenden,
- das Sattelrohr und
- das Tretlager.

Während die Kraftgrößen für das Steuerrohr und die Sattelstütze aufgrund der Messungen ermittelt werden können, gestaltet sich die Beschreibung der Lasten im Tretlager deutlich schwieriger. Durch die Kurbelkräfte kommt es zu einer zusammengesetzten Belastung aus Momenten und Kräften. Diese stützen sich teilweise über den Rahmen und teilweise über die Kette ab. Die Reaktionskräfte des Fahrers aus den Kurbelkräften wiederum beeinflussen die Lasten auf Lenker, Vorbau und Sattel.

Eine direkte Ermittlung der Belastungen ist somit am Rahmen nicht möglich. Vergleichsmessungen z.B. für Starr- und Federgabel sind jedoch realisierbar [1].

IV Datenaufzeichnung und -speicherung

IV.1 Beschreibung Datenlogger DL16C V2.2

Allgemeines

Der Datenlogger DL l6 ist ein Datenaufzeichnungsgerät zur Erfassung von

- analogen Spannungen,
- Frequenzsignalen und,
- digitalen Datenströmen über RS232-Schnittstellen.

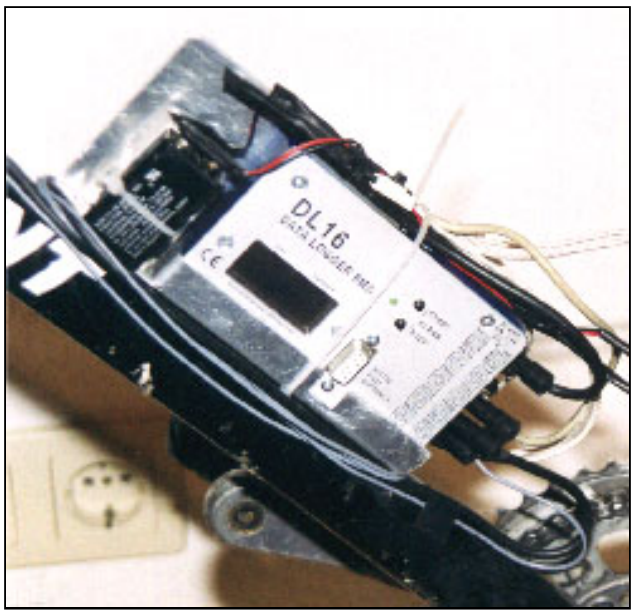

Bild 35: Der Datenlogger DL16

Die Signale werden mit einer Abtastrate von maximal 4 kHz abgetastet und auf einer integrierten SRAM-Karte mit einer Speicherkapazität von 8Megabyte abgelegt. Die Einstellungen für den DL16 werden über einen Windows-PC vorgenommen und ebenfalls im SRAM abgespeichert. Nach dem Herunterladen der Parameter kann der DL16 auch Off-Line ohne eine Verbindung zum PC seine Funktion erfüllen. Neben der Speicherung von Messwerten kann der DL16 auch als Online-Datenquelle für x-y-Recorder benutzt werden. Das Programm des Mikro-Controllers ist im Prozessor-Flash-ROM abgelegt und kann durch Herunterladen der aktuellen Programmversion auf den neuesten Stand gebracht werden.

Eingangskanäle

Der DL 16 unterstützt sechzehn verschiedene l6Bit-Kanäle. Diese Kanäle sind unterteilt in

- acht l0-Bit-Analog-Kanäle mit Eingangsspannungen von 0 V bis 5.12 V und einem Innenwiderstand von 10 MΩ,
- drei Frequenzkanäle (für z.B. Drehzahl, Geschwindigkeit oder Durchfluss) mit Eingangspegeln zwischen 0 V bis 20 V und
- zwei digitale RS232-Kanäle.

Signalabtastung

Die Analog- und Frequenzkanäle werden immer mit einer festen Basis-Abtastfrequenz von 4 kHz abgetastet. Ist eine kleinere Abtastfrequenz zwischen 2 KHz und 15 Hz eingestellt, werden die mit 4 kHz anfallenden Abtastwerte gemittelt. Die Mittelwertbildung ergänzt den Einsatz eines Anti-Aliasing-Tiefpassfilters. Insgesamt darf eine Aufzeichnungsrate von 100 KByte/s nicht überschritten werden. Das bedeutet, dass maximal 12 Kanäle mit der größtmöglichen Abtastrate von 4 kHz ≡ 8 kByte/s (Abtastperiode 250 µs) aufgezeichnet werden können. Sollen mehr als 12 Kanäle aufgezeichnet werden, so stellte eine Abtastrate von 2 kHz pro Kanal die Obergrenze dar. Ein Überschreiten dieser Grenze kann dazu führen, dass der DL 16 nicht mehr alle Abtastwerte übernimmt. Dieser Fehlerzustand wird mit einem Ausrufezeichen in der LCD-Anzeige angezeigt.

Um die 16 Bit eines jeden Kanals voll auszunutzen, werden die vom A/D-Wandler erzeugten 10 Bit-Abtastwerte vor der Mittelwertbildung mit 64 multipliziert (Rechts-Shift um 6 Binärstellen) und somit in l6 Bit-Datenworte umgewandelt. Der Messbereich der Frequenzkanäle liegt zwischen 0,1 Hz und 20 kHz.
Der Speicher des DL16 kann optional als Ringpuffer betrieben werden. Diese Betriebsart bedeutet, dass die ältesten Messwerte fortwährend mit den neuesten Messwerten überschrieben werden.

Messungen aufzeichnen/auslesen

Nach dem Start der Messung werden die Eingangssignale abgetastet und die Abtastwerte abgespeichert. Die Messung starten kann man entweder

- mit der Starttaste oder
- mit signalabhängigen Triggerbedingungen. Es können bis zu vier Triggerbedingungen festgelegt werden. Dabei wird jeder Kanal, der aufgenommen wird, mit einem festen Schwellenwert verglichen. Durch ständigen Vergleich des Messsignals mit der festgelegten Triggerschwelle wird gesprüft, ob die Messung automatisch gestartet werden soll. Als Vergleichsoperatoren stehen $\leq$ und $\geq$ zur Verfügung.

Beendet wird die Messung entweder

- durch die Stopptaste,
- eine Triggerbedingung oder
- die Tatsache, dass der Speicher vollständig gefüllt und kein Ringpufferbetrieb aktiviert ist.

Gleichzeitiges Drücken der Start- und Stopptaste löscht die komplette Messung. Um ein versehentliches Stoppen der Messung oder ein versehentliches Löschen der Daten zu vermeiden, können die Tasten per Software deaktiviert werden.

Technische Daten:

Versorgung:	Gleichspannung von 6... 16 V (der Stromverbrauch liegt bei etwa 65 mA)
Größe:	Die DL16-Box hat die Maße 106x70x23 mm
Gewicht:	Die DL16-Box wiegt etwa 168 Gramm

Programmieren und Auslesen des DL16:

Der DL16 wird über einen Windows-PC mit dem Programm TEMES programmiert und ausgelesen (siehe Kapitel V). Zu diesem Zweck kann der Datenlogger entweder über eine serielle oder über eine parallele Schnittstelle mit dem Computer verbunden werden. Die Übertragungsrate liegt bei der parallelen Schnittstelle bei 2 MB pro Minute.

Anzeigen

Die Anzeige des DL16 besteht aus einer Leuchtdiode und einer vierzeiligen LCD-Anzeige.

Leuchtdiode

Die Leuchtdiode zeigt den Betriebsstatus des Datenloggers an.

- Leuchtdiode ist aus: Es liegt keine Versorgungsspannung an. Deshalb werden lediglich die Daten erhalten, aber keine neuen Messwerte aufgezeichnet.
- Grünes Dauerlicht: Es wird nicht aufgezeichnet, der Aufnahmepuffer ist noch nicht voll. Es kann gemessen werden.
- Rotes Dauerlicht: Es wird aufgezeichnet, der Aufnahmepuffer ist nicht noch voll.

- Grünes Blinklicht: Es wird nicht aufgezeichnet. Obwohl der Aufnahmepuffer bereits voll ist, ist ein Aufzeichnen weiterhin möglich (Ringpufferbetrieb).
- Rotes Blinklicht: Obwohl der Aufnahmepuffer bereits voll belegt ist, wird weiterhin aufgezeichnet (Ringpufferbetrieb).
- Rotgrünes Wechsellicht: Es ist kein Aufzeichnen mehr möglich, weil der Aufnahmepuffer voll ist und sich der DL 16 nicht im Ringpufferbetrieb befindet.
- Schnelles rotgrünes Wechsellicht: Der Aufnahmepuffer wurde durch gleichzeitiges Drücken der Start- und Stopptaste gelöscht.

LCD-Anzeige

Die LCD-Anzeige gibt Auskunft über die momentanen Aufzeichnungseinstellungen, Logger-Auslastung und Kanalaussteuerungen. Sie besteht aus drei Zeilen und 12 Spalten.

Die **erste Zeile** liefert Informationen über die Speichereinstellungen:

- Ringpuffer: Befindet sich der Logger im Ringpufferbetrieb, so erscheint der Buchstabe R, andernfalls wird nichts angezeigt.
- Belegter Speicher: Hier wird der Anteil des Aufnahmespeichers angezeigt, welcher bereits Messwerte enthält. Wurden noch keine Werte aufgezeichnet, werden hier 0 % angezeigt. Ist der komplette Speicher mit Messwerten beschrieben, so erscheinen hier 100 %.
- Größe des Aufnahmespeichers

In der **zweiten Zeile** steht die CPU-Auslastung, die Abtastfrequenz und die maximale Aufnahmedauer:

- CPU-Auslastung: Hier steht die CPU-Auslastung in Prozent. Die CPU-Auslastung soll während der Messdatenerfassung 85 % nicht überschreiten, weil sonst die Gefahr von Datenverlust besteht. In diesem Fall wird anstelle des Prozentzeichens permanent ein Ausrufezeichen angezeigt. Unter Umständen erscheint während des Auslesens des Datenloggers das Ausrufezeichen auf dem Display. Dieses Zeichen kann in diesem Fall ignoriert werden.
- Abtastfrequenz: Hier wird die Abtastfrequenz in Hz angezeigt.
- Maximale Aufnahmedauer: Hier wird die maximale Aufnahmedauer entweder in Sekunden (s), Minuten (m) oder Stunden (h) angezeigt. Falls nötig, wird das letzte Feld der Abtastfrequenz (und somit das z in Hz) für die Darstellung der Aufnahmedauer verwendet.

In der **dritten Zeile** wird die Kanalaussteuerung für die acht Analogkanäle (Al bis A8), die drei Frequenzkanäle (F1 bis F3) und für den ersten RS232-Kanal (R1) genau dann angezeigt, wenn der entsprechende Kanal auch aufgezeichnet wird. Das hat den Vorteil, dass erkennbar ist, welcher dieser Kanäle aufgezeichnet wird. Die Darstellung der Aussteuerung besteht aus einer Ziffer, welche mit 10 % multipliziert den ganzzahligen Prozentanteil der Aussteuerung angibt. Wird für einen Kanal der Zahlenwert 0 gemessen, so erscheint anstelle der Ziffer 0 für 0 % das Unterstrichzeichen (_). Entsprechend wird für den größtmöglichen Zahlenwert 65535 das ASCII-Zeiche ^ angezeigt.

Der DL 16 verfügt über zwei Anschlüsse. Über den PC-Anschluß wird der Datenlogger mit dem Computer verbunden. Dazu kann man entweder ein serielles oder ein paralleles Verbindungskabel benutzen.

IV.2 Pinbelegung des Datenloggers DL16

Anschluß		Pin		Bemerkung	Kabel
RS 1/2	5 pol	1	TX 1		
		2	Ground		
		3	RX 1		
		4	TX 2		
		5	RX 2		
AN 1/2	5 pol	1	+ U_B -1 V		schwarz
AN 3/4		2	Ground		braun
AN 5/6		3	AN Eingang 1		blau
AN 7/8		4	AN Eingang 2		grün
		5	+5,12 V		Orange
6...16 V	4 pol	1	+ U_B 7...20 V		Gelb
		2	Ground		Braun
		3	Reserviert für can low		
		4	Reserviert für can high		
ST/SP	4 pol	1	+ U_B		
		2	Ground		
		3	Start- Eingang		
		4	Stopp- Eingang		
FRQ 1,2,3	3 pol	1	+ U_B -1 V	Ri=200 Ω	
		2	Ground		Schwarz
		3	Digitaleingang	Ri=100 kΩ gegen +5 V 0...20 V	Braun
TRIGGER	4 pol	1	+ U_B -1 V	Ri=220 Ω	
		2	Start-Trigger	Ri=100 kΩ gegen +5V Start bei < 2 V	Schwarz
		3	Stop-Trigger	Ri=100 kΩ gegen +5V Stop bei < 2 V	Braun

V Datenübertragungssoftware TEMES

V.1 Allgemeines

Das Programm TEMES fasst alle Funktionen zusammen, die man benötigt, um

- den Datenlogger zu programmieren (d.h. zu parametrieren),
- um Messwerte (insbesondere zu Kalibrierzwecken) on-line zum PC zu übertragen, und
- um komplette Datensätze von Abtastwerten off-line zum PC zu transferieren.

Eine TEMES-Datei mit der Extension *.tms enthält alle Parameter zur Programmierung des Datenloggers DL16 für eine spezielle Messaufgabe, den Dateinamen der Parameterdatei, den Zeitpunkt der Programmierung sowie eventuell vorhandene Messwert-Datensätze. Da TEMES eine Vielzahl von Geräten unterstützt, sind die Parameter in einer Baumstruktur organisiert und werden so auch vom Programm in der vom Windows-Explorer bekannten Art angezeigt.

Geräteparametersätze können in vier Gruppen unterteilt werden:

- allgemeine Parameter
- Eingänge
- Verrechnung
- Ausgänge

Allgemeine Parameter:

Diese Gruppe fasst allgemeine Geräteparameter wie z.B. die Abtastrate zusammen.

Eingangssignale:

Signale an Eingängen werden im DL16 digitalisiert und für die weitere Verarbeitung gespeichert. Um ein Eingangssignal zu definieren, muss der zugehörigen Signalquelle (z.B. einem analogen Eingangskanal) ein eindeutiger Name zugewiesen werden. Innerhalb der gesamten Programmierung wird dieser Name für die jeweilige Signalquelle benutzt. Wird dieser Name gelöscht, so kann auf die Signalquelle nicht mehr zugegriffen werden.

Verrechnung:

Eingangssignale können rechnerisch kombiniert werden. Berechneten Messwerten kann ebenso wie Eingangssignalen ein Name zugewiesen werden. Weiter wichtige Kennzeichen berechneter Signale sind

- die Berechnungsformel
- bis zu drei Signalquellen und
- bis zu drei Konstanten

Ausgänge:

Ausgänge sind z.B. Anzeigen auf einem Display sowie analoge und digitale Ausgänge. Um eine Ausgabe zu definieren, müssen

- das auszugebende Eingangssignal und
- weitere Parameter (z.B. Skalierungsfaktoren) festgelegt werden.

V.2 Funktionsübersicht

V.2.1 Das Datei-Menü

Neu:	Eine neue TEMES-Dokument wird erzeugt – ist noch kein Gerät aktiviert, so erscheint das Fenster "„Gerät hinzufügen"
Öffnen:	Eine existierende TEMES-Datei wird geöffnet
Speichern:	Das aktive TEMES-Dokument wird gespeichert
Speichern als:	Das aktive TEMES-Dokument wird als neue Datei gespeichert
Importieren:	Ein Parametersatz wird von einem anderen TEMES-Dokument importiert.
Exportieren:	Ein Parametersatz oder eine Messung kann exportiert werden.
CAN Editor:	momentan ohne Bedeutung
Ausführen:	momentan ohne Bedeutung
Beenden:	TEMES beenden

V.2.2 Das Hardware-Menü

Gerät parametrieren:	Der Parametersatz wird über die Schnittstelle zum Datenlogger geladen und der DL16 programmiert
Gerät kalibrieren:	Eingangssignale werden Online auf dem PC dargestellt und die Parameter im DL16 aktualisiert
Messung auslesen:	Ein Messdatensatz wird vom DL16 zum PC transferiert.
Geräte-Manager:	Das Fenster des Geräte-Managers wird geöffnet.

V.2.3 Das Anzeige-Menü

Das Anzeige-Menü enthält die beiden Funktionen „Diagramm“ und „Variablen“.

V.2.4 Das Fenster-Menü

Das Fenster-Menü enthält die bei Windows üblichen Funktionen „Überlappend“, „Nebeneinander“, „Symbole anordnen“ und „Alle verkleinern“.

V.2.5 Das Hilfe-Menü

Das Hilfe-Menü enthält die Funktionen „TEMES im Überblick“, „Datenblätter“ und „Info“. Unter „TEMES im Überblick“ findet man alle wesentlichen Informationen zu Programm TEMES mit folgenden Punkten:

- Das allgemeine Konzept von TEMES
- Fehlermeldungen
- verfügbare Menüs mit detaillierter Beschreibung der Formular und aller wichtiger Parameter

Ein Ausdruck dieser gesamten Hilfe-Informationen steht zur Verfügung und sollte im Fall von Problemen in Anspruch genommen werden.

V.3 Parametrierung des Datenloggers

Wird ein TEMES-Dokument neu erstellt oder ein bereits vorhandenes geladen, so erscheint auf dem Bildschirm das TEMES –Programmierfenster (siehe Bild 35), das in drei Bereiche unterteilt ist:

- die Parameter-Baumstruktur,
- der Namen des aktuellen Knotens mit seinem Dateipfad und
- das zugehörige Formular.

Wählt man einen Knoten aus, so erscheint rechts das jeweilige zum Parameter gehörige Formular. Ein Pluszeichen im Knoten bedeutet, dass der Knoten erweitert werden kann. Im Formular können neue Parameter eingetragen oder Änderungen an vorhandenen Parametern durchgeführt werden. Wird ein neuer Knoten angeklickt, so werden die Änderungen in den Parametersatz übernommen. Wurden ungültige Änderungen durchgeführt (roter Hintergrund des aktiven Feldes), so kann kein neuer Knoten angeklickt werden.

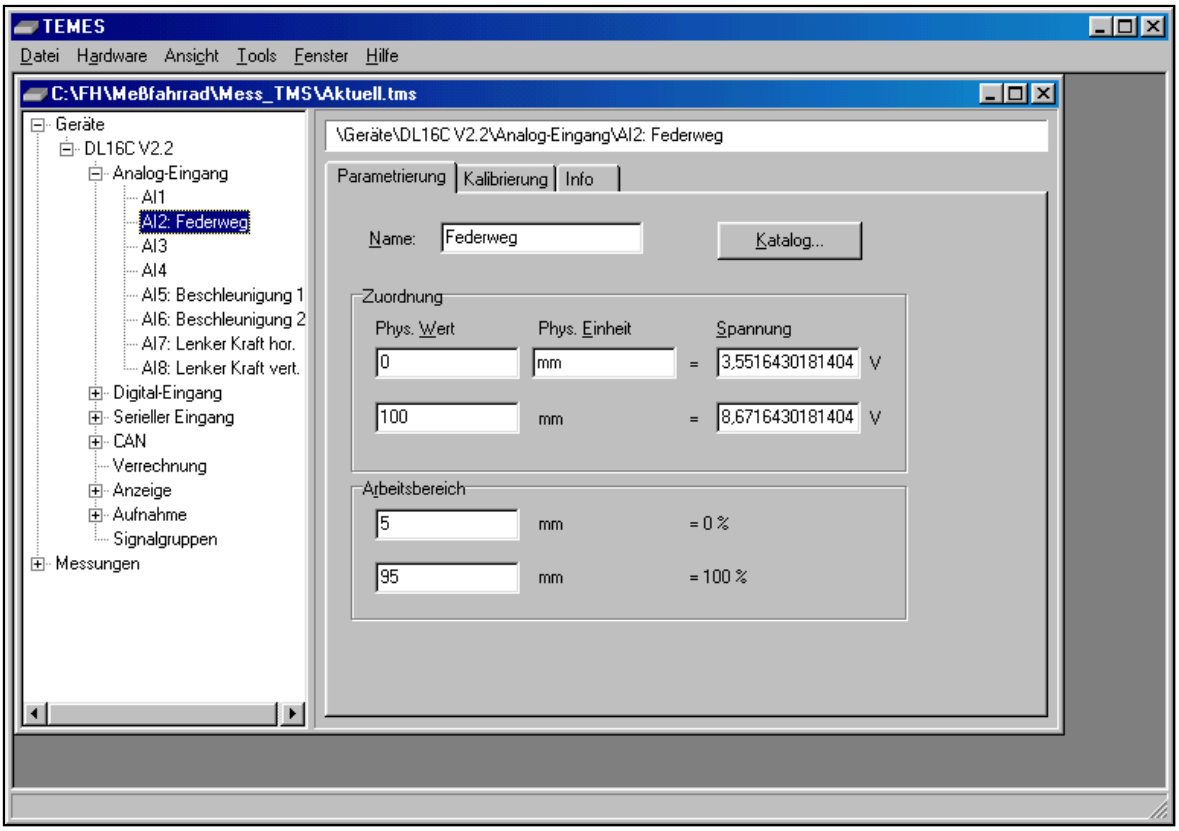

Bild 36: Bildschirmfenster des Parametrier- und Datenübertragungsprogramms TEMES
links: Baumstruktur der Parameter (Erläuterungen siehe Text)
oben rechts: Pfad des aktuellen Knotens in der Baumstruktur (hier AI5: Federweg)
rechts: Formular des aktuellen Knotens (hier analoger Eingangskanal)

Parametrierung der Eingabekanäle

Die Eingangskanäle des Datenloggers müssen parametriert und damit die Messketten kalibriert werden. Dies geschieht mit der Funktion → Hardware→ Kalibrieren. Sollte die Kalibrierung aus irgendwelchen Gründen nicht möglich sein, so können die folgenden empfohlenen Parameterwerte zur Programmierung des Datenloggers DL16 benutzt werden.

1. Wegmessung mit potentiometrischem Wegsensor am analogen Eingangskanel A2:

Kanal: A2	Federweg	
	Messgrösse	Messsignal
1. Wert :	0	0
2. Wert :	100	5,12
Einheit :	mm	V
Messbereich	von 5 mm	bis 95 mm

2. Geschwindigkeitsmessung mit digitalem Eingangskanal DI1:

Kanal: DI1	Geschwindigkeit	
	Messgrösse v	Messsignal f
1. Wert :	0	0
2. Wert :	10	245,1
Einheit :	km/h	1/min
Messbereich	von 0 km/h	bis 60 km/h

3. Trittfrequenzmessung mit digitalem Eingangskanal DI2:

Kanal: DI2	Trittfrequenz	
	Messgrösse N	Messsignal f
1. Wert :	0	0
2. Wert :	1	22
Einheit :	1/min	1/min
Messbereich	von 0 1/min	Bis 240 1/min

4. Beschleunigungsmessung mit den analogen Eingangskanälen AI5 und AI6:

	Beschleunigung horizontal		Beschleunigung vertikal	
Kanal: AI5/6	Beschleunigung 1		Beschleunigung 2	
	Messgrösse	Messsignal	Messgrösse	Messsignal
1. Wert :	0	2,64	0	2,49
2. Wert :	9,81	2,833	9,81	2,684
Einheit :	m/s^2	V	m/s^2	V
Messbereich	von 0 g	bis 10 g	von 0 g	bis 10 g

Berechnungsbeispiel:

Kanal AI5: Der Sensor liefert bei Beschleunigung 0 eine Spannung von U_o = 2,64 V,
Δa = 1 g entspricht einer Spannungsänderung um 0,193 V,
$\Rightarrow$ Empfindlichkeit k = 0,193 V / 9,81 m/s² = 0,01967 Vs²/m

Kanal AI6: Der Sensor liefert bei Beschleunigung 0 eine Spannung von U_1=2,49 V,
Δa = 1 g entsprechen einer Spannungsänderung um 0,194 V,
$\Rightarrow$ Empfindlichkeit k = 0,194 V / 9,81 m/s² = 0,01978 Vs²/m

5. Kraftmessung am Lenker mit den analogen Eingangskanälen AI7 und AI8

Tabelle: Kalibriertabelle zur Kalibrierung der Messbrücke am Lenker:

Belastungsermittlung nur für eine Seite des Lenkers.

	Vertikal				horizontal			
Nr.	Gewicht in [kg]	Kraft in [N]	Spannung U_a in [V]		Nr.	Gewicht in [kg]	Kraft in [N]	Spannung U_a in [V]
1	-	-	2,52		1	-	-	2,39
2	8,5	83,4	2,10		2	8,5	83,4	2,86
3	12	117,7	1,94		3	12	117,7	3,06
4	25,5	250,2	1,31		4	25,5	250,2	3,75

	Kräfte vertikal		Kräfte horizontal	
Kanal: AI7/8	Kraft vert.		Kraft hor.	
	Messgrösse	Messsignal	Messgrösse	Messsignal
1. Wert :	0	2,52	0	2,39
2. Wert :	250,2	1,31	250,2	3,75
Einheit :	N	V	N	V
Messbereich	von -1000 N	bis 1000 N	von -1000 N	bis 1000 N

6. Kraftmessung am Lenkervorbau mit den analogen Eingangskanälen AI7 und AI8

Tabelle: Kalibriertabelle zur Kalibrierung der Messbrücke am Lenkervorbau:

	Torsion					Biegung		
Nr.	Gewicht in [kg]	Kraft in [N]	Spannung U_a in [V]		Nr.	Gewicht in [kg]	Kraft in [N]	Spannung U_a in [V]
1	-	-	2,81		1	-	-	2,63
2	8,5	83,4	2,46		2	25,5	250,2	3,01
3	25,5	250,2	1,75		3	50,6	496,4	3,76

	Torsion		Biegung	
Kanal: AI7/8	Torsionsmoment		Biegungskraft.	
	Messgrösse	Messsignal	Messgrösse	Messsignal
1. Wert :	0	2,81	0	2,63
2. Wert :	67,54	1,75	496,4	3,76
Einheit :	Nm	V	N	V
Messbereich	von -250 Nm	bis 250 Nm	von -1000 N	bis 1000 N

7. Kraftmessung an der Sattelstütze mit den analogen Eingangskanälen AI7 und AI8

Tabelle : Kalibriertabelle zur Kalibrierung der Messbrücken an der Sattelstütze:

	in Fahrtrichtung					in Fahrtrichtung		
Nr.	Gewicht in [kg]	Kraft in [N]	Spannung U_a in [V]		Nr.	Gewicht in [kg]	Kraft in [N]	Spannung U_a in [V]
1	-	-	2,53		1	-	-	2,68
2	8,5	83,4	2,91		2	8,5	83,4	3,07
3	25,5	250,2	3,66		3	25,5	250,2	3,81

	in Fahrtrichtung		quer zur Fahrtrichtung	
Kanal: AI7/8	Kraft längs		Kraft quer	
	Messgrösse	Messsignal	Messgrösse	Messsignal
1. Wert :	0	2,53	0	2,68
2. Wert :	250,2	3,66	250,2	3,81
Einheit :	N	V	N	V
Messbereich	von -1000 N	bis 1000 N	von -1000 N	bis 1000 N

8. Kraftmessung an der ungefederten Gabel mit den analogen Kanälen AI7 und AI8

Tabelle : Kalibriertabelle für die Messbrücken an der ungefederten Gabel:

	in Fahrtrichtung				quer zur Fahrtrichtung			
Nr.	Gewicht in [kg]	Kraft in [N]	Spannung U_a in [V]		Nr.	Gewicht in [kg]	Kraft in [N]	Spannung U_a in [V]
1	-	-	2,50		1	-	-	2,63
2	8,5	83,4	2,22		2	8,5	83,4	2,21
3	25,5	250,2	1,72		3	25,5	250,2	1,42

	in Fahrtrichtung		quer zur Fahrtrichtung	
Kanal: AI7/8	Kraft längs		Kraft quer	
	Messgrösse	Messsignal	Messgrösse	Messsignal
1. Wert :	0	2,50	0	2,63
2. Wert :	250,2	1,72	250,2	1,42
Einheit :	N	V	N	V
Messbereich	von -1000 N	bis 1000 N	von -1000 N	bis 1000 N

V.4 On-Line-Messwertdarstellung und Kalibrierung

Die aktuellen, vom DL16 übernommenen Messwerte können mit der Funktion

⇒ **Hardware** ⇒ **Gerät kalibrieren**

auf dem Bildschirm online dargestellt werden. Um ein starkes Springen der Messwerte zu unterdrücken ist es sinnvoll, im Parameterbaum bei den allgemeinen Parametern die Abtastrate auf niedrige Werte (f_s < 10 Hz) zu setzen.

Die Kalibrierung des Sensors kann mit dieser Funktion werden. Dabei kann

- die Empfindlichkeit des Sensors mit einer Zweipunkt-Kalibrierung auf einen aktuellen Wert gesetzt werden. Der Sensor muss auf die in Abschnitt V.3 eingetragenen zwei physikalischen Eingangswerte gesetzt werden. Die Software übernimmt dann den jeweiligen Ausgangswert des Messsignals und führt eine Zweipunktkalibrierung durch,
- der Nullpunkt veschoben werden, indem nur der erste in V.3 eingetragene physikalische Eingangswert als Nullpunkt übertragen wird. In diesem Fall bleibt die Steigung der Kennlinie unverändert.

Diese Kalibrierung sollte allerdings nur durchgeführt werden, wenn die physikalischen Eingangswerte der Zweipunktkalibrierung exakt eingestellt werden können. In allen anderen Fällen sollte mit den empfohlenen Werten aus Abschnitt V.3 gearbeitet werden.

Wird mit ⇒ **Hardware** ⇒ **Kalibrieren** neu kalibriert, so werden die Spannungswerte im Fenster in Bild 36 neu überschrieben.

Das TEMES-Fenster zur On-Line-Darstellung und Kalibrierung ist in Bild 37 abgebildet.

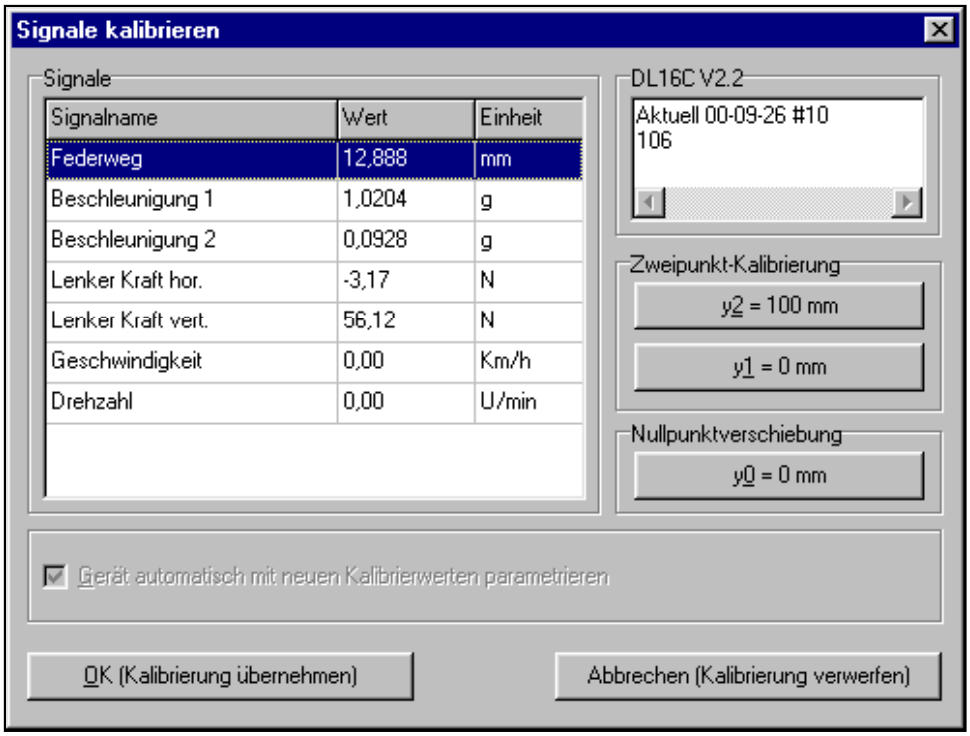

Bild 37: TEMES-Bildschirmfenster für die Funktion →Hardware→ Gerät kalibrieren > On-Line-Messwertdarstellung und Kalibrierung
links: On-Line-Darstellung der aktuell erfassten Messgrößen
rechts: Tasten für die Zweipunkt-Kalibrierung bzw. Verschiebung des Nullpunkts

V.5 Datentransfer zum PC und Abspeicherung

Die Messung wird am DL16 gestartet und gestoppt. Die Datenübertragung zum PC erfolgt anschliessend mit der Funktion

⇒ **Hardware** ⇒ **Messung auslesen**

Die Messwerte stehen anschliessend im PC zur Verfügung und sind im Parameterbaum unter Messungen eingetragen. (siehe auch Bild 36).

V.6 Darstellung und Analyse der Messungen

Die einfachste Möglichkeit der Visualisierung der Messwerte bietet TEMES mit der Funktion

⇒ **Ansicht** ⇒ **Diagramm**

Alle erfassten Messgrössen werden in einem Diagramm in ihrem zeitlichen Verlauf dargestellt (siehe Bild 38). Zusätzlich sind einfache weitergehende Funktionen vorhanden. Das Diagramm kann

- manuall skaliert,
- im Cursormodus manuell ausgewertet und
- ausgedruckt werden.

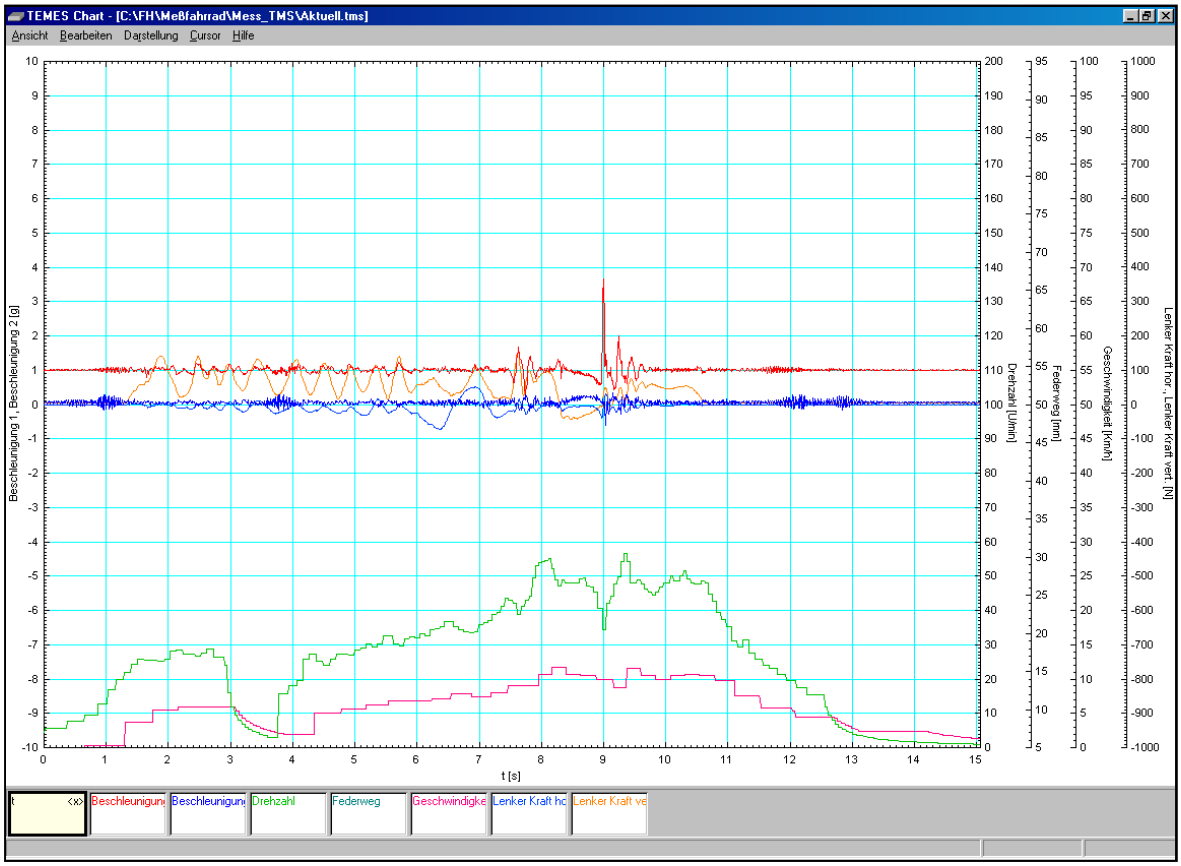

Bild 38: Diagramm der Messung mit der TEMES-Funktion ⇒ Ansicht ⇒ Diagramm
Das Diagramm kann manuell skaliert,interaktiv ausgewertet und gedruckt werden.

Für weitergehende Datenauswertungen müssen die Messdaten mit der Funktion

⇒ **Datei** ⇒ **Exportieren**

in eine ASCII-Datei umgewandelt werden. Der Dateityp muss dabei auf ASCII-Datei mit der Erweiterung *.asc eingestellt werden. Die ASCII-codierten Messdaten können dann entweder in LabVIEW eingelesen und mit geeigneten LabVIEW-VIs analysiert oder mit dem Tabellenkalkulationsprogramm EXCEL grafisch dargestellt werden.

Datenanalyse mit dem Tabellenkalkulationsprogramm EXCEL:

Das Tabellenkalkulationsprogramm EXCEL kann ASCII-codierte Messdaten als Tabelle einlesen und entsprechende Auswertungen ausführen. Insbesondere enthält EXCEL komfortable Möglichkeiten der grafischen Darstellung. Bild 39 zeigt ein Beispiel für eine mit EXCEL ausgewertete Messfahrt.

Datenanalyse mit LabVIEW:

Es steht ein LabVIEW-VI fahrrad.vi zur Verfügung (VI = Virtual Instrument), das es ermöglicht, die Messdaten von 7 parallel aufgezeichneten Messkanälen grafisch darzustellen. Weitere Auswertemöglichkeiten bestehen bisher noch nicht, es ist jedoch die Entwicklung eines modularen Systems von Analyse-VIs zur Auswertung der Fahrrad-Messfahrten geplant. Bild 40 zeigt ein Beispiel für die grafische Darstellung einer Messfahrt mit LabVIEW.

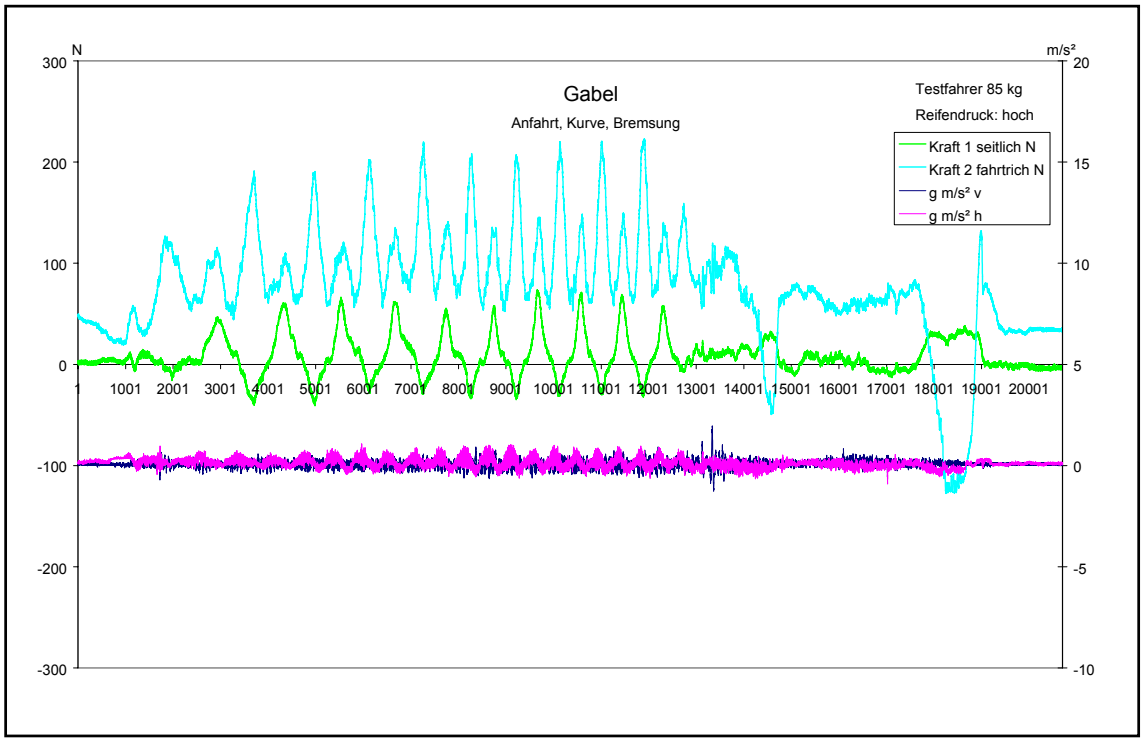

Bild 39: Diagramm einer Messung, ausgewertet und grafisch dargestellt mit dem Tabellenkalkulationsprogramm EXCEL

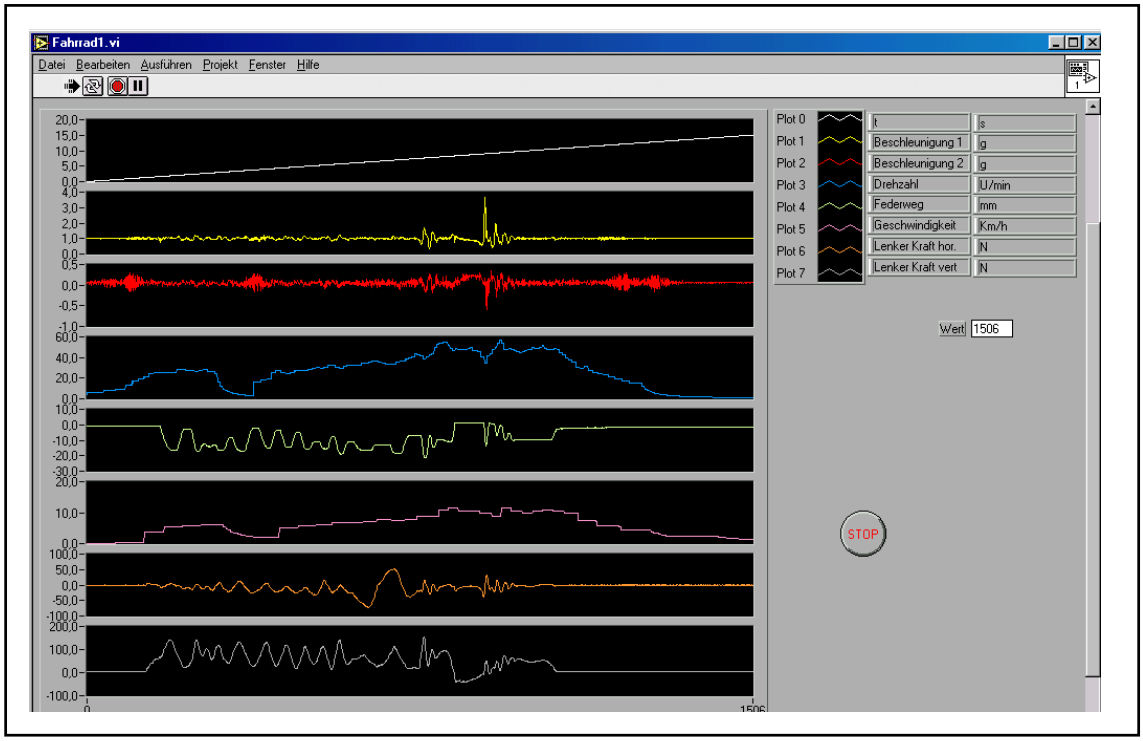
Fahrrad1.vi
Datei Bearbeiten Ausführen Projekt Fenster Hilfe
Plot 0 t s
Plot 1 Beschleunigung 1 g
Plot 2 Beschleunigung 2 g
Plot 3 Drehzahl U/min
Plot 4 Federweg mm
Plot 5 Geschwindigkeit Km/h
Plot 6 Lenker Kraft hor. N
Plot 7 Lenker Kraft vert N
Wert 1506
STOP

Bild 40: Diagramm einer Messung, ausgewertet und grafisch dargestellt mit LabVIEW.

V.7 Beispiel für den Ablauf einer Messung mit dem Datenlogger DL16 und der Software TEMES

(1) Mit dem Tellert-Gerätemanager wird der Datenlogger aktivert.
⇒ **Hardware ⇒ Geräte-Manager**

(2) Ein neues TEMES-Dokument wird erzeugt und der Datenlogger DL16 wird in den den Parametersatz eingesetzt.
⇒ **Datei ⇒ Neu** oder
ein vorhandenes TEMES-Dokument *.tms wird geöffnet
⇒ **Datei ⇒ Öffnen**

(3) Die Abtastrate $\mathbf{f_s}$ in Hz oder kHz ($f_s \leq$ 4 kHz) und das Verhältnis (Ratio) zwischen schneller und langsamer Abtastuung müssen eingegeben werden
⇒ **Parameterbaum (\Geräte\DL16C V2.2)**

(4) Mindestens ein analoger Eingangskanal (z.B. AI1)muss definiert werden. Insbesondere ist ein Name festzulegen, unter dem diese Datenquelle immer anzusprechen ist. Außerdem sind zwei Stützpunkte für eine Zweipunktkalibrierung festzulegen. Am besten geeignet sind die Messbereichsgrenzen.
⇒ **Parameterbaum (\Geräte\DL16C V2.2\Analog-Eingang\AI1)**

(5) Für den Eingabekanal AI1 wird der schnelle Zyklus für die Datenerfassung gewählt.
⇒ **Parameterbaum (\Geräte\DL16C V2.2\Aufnahme\Speicher\Schneller Zyklus)**

(6) Der Datenlogger DL16 wird durch Herunterladen des Parametersatzes programmiert bzw. parametriert.
⇒ **Hardware ⇒ Gerät parametrieren**

(7) Gebenenfalls muss die Messkette an den unter Punkt (4) festgelegten Stützpunkten kalibriert werden. Die physikalischen Eingangswerte müssen mit den unter Punkt (4) eingegebenen Werten übereinstimmen.
⇒ **Hardware ⇒ Gerät kalibrieren**

(8) Die Messung wird durch Drücken der Starttaste am DL16 gestartet.
⇒ **Starttaste DL16**

(9) Die Messung wird durch Drücken der Stoptaste am DL16 beendet.
⇒ **Stoptaste DL16**

(10) Die vom Datenlogger DL16 aufgenommenen und gespeicherten Messwerte müssen jetzt zum PC hochgeladen werden. Der DL16 wird mit dem PC über die seriellen Schnittstellen verbunden und die entsprechende TEMES-Funktion gestartet.
⇒ **Hardware ⇒ Messung auslesen**

(11) Im einfachsten Fall wird jetzt die Messung in einem Diagramm grafisch dargestellt.
⇒ **Ansicht ⇒ Diagramm oder Taste F4**

(12) Alternativ werden jetzt die Messdaten ASCII-codiert exportiert und mit EXCEL oder LabVIEW weiter ausgewertet.
⇒ **Datei ⇒ Exportieren (Dateityp ASCII-Datei)**

VII Literaturverzechnis

[1] E. Groß: Betriebslastenermittelung, Dimensionierung, strukturmechanische und fahrwerkstechnische Untersuchungen von Moutainbikes. Düsseldorf, VDI Verlag, 1997.

[2] E. von der Osten-Sacken, C. Heinrich: Verkehrssicherheit von Fahrrädern. Bergisch Gladbach, Wirtschaftsverlag, April 1996.

[3] K. Hoffmann: Eine Einführung in die Technik des Messens mit DehnungsMessstreifen. Darmstadt, HBM, 1987

[4] R. Spahl: Lastkollektivbezogene Prüftechnik von Sicherheitsbauteilen an Fahrzeugen. Aachen, Shaker Verlag, 1996

[5] Drobrinski: Physik für Ingenieure. Stuttgart, B. G. Teubner, 1988

[6] E. Schrüfer: Elektische Messtechnik. München, C.Hanser Verlag, 1992

[7] H. Stetter: Messtechnik an Maschinen und Anlagen. Stuttgart, B. G. Teubner, 1992

[8] DL 16, Warnecke,

[9] Kistler- Betriebsanleitung, Winterthur,

[10] Beschreibung des Programms TEMES

[11] Montageanleitung und Beschreibung HBM –Messverstärker AE 101

VIII Anhang

VIII.1 Ausbau der Federgabel

Um die ungefederte Gabel gegen eine Federgabel auszuwechseln, sind folgende **Werkzeuge** notwendig:

- zwei Gabelschlüssel SW 36
  (wenn nur ein Schlüssel vorhanden ist, zusätzlich eine Rohrzange benutzen)
- ein Hammer
- ein Dorn
- Inbusschlüssel 5 mm und 6 mm

Arbeitsschritte:

1. Bremskabel an Bremse und Bremsgriff aushängen
2. Vorbau lösen und herausziehen

Bild A1:
zu Punkt 3
die Konterung am Steuersatz wird gelöst

3. Die Konterung am Steuersatz lösen
4. Vorderrad herrausnehmen

Bild A2:
zu Punkt 5
die Kopfmutter wird abgedreht

5. Kopfmutter abdrehen
6. Obere Kugelringe entnehmen
7. Gabel nach unten herausziehen
8. Untere Kugelringe entnehmen (dürfen nicht vertauscht werden)

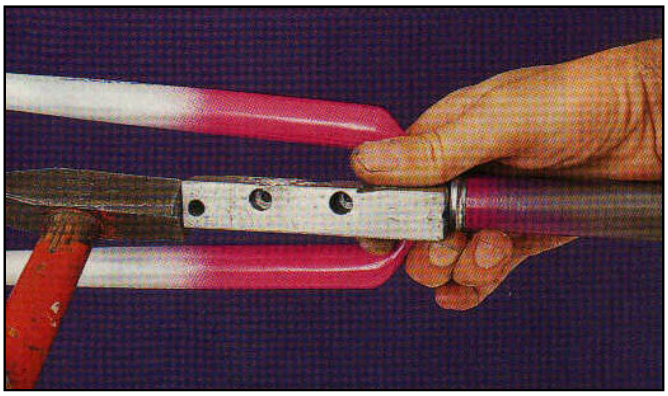

Bild A3:
zu Punkt 9
der Gabelkonus wird herausgetrieben

9. Gabelkonus heruntertreiben
10. Gabelkonus auf andere Gabel treiben (muß absolut gerade aufsitzen)
11. Untere Kugelringe aufsetzen (auf Lage achten und ggf. nachfetten)
12. Gabel wieder einsetzen
13. Obere Kugelringe aufsetzen
14. Kopfmutter aufdrehen und leicht kontern
15. Vorbau einschieben und erst dann endgültig anziehen
16. Vorderrad einbauen
17. Bremskabel an Bremse und Bremsgriff einhängen

Bild A4:
zu Punkt 18

18. Vorderbremse anziehen und das Fahrrad leicht vor- und zurückbewegen. Zuviel Spiel läßt sich am Spalt zwischen Gabelkonus und unterer Lagerschale leicht feststellen
19. Kontermutter fest anziehen und Einstellung-Kontrolle wiederholen

VIII.2 Programmierung des Datenloggers DL16

- **Parametersatz für DL16 erstellen bzw. laden**
  neuer Parametersatz: Geräte-Manager ⇒ Alle Ports aktualisieren oder
  ⇒ Gerät suchen (DL16 an COM2)
  ⇒ Hardware ⇒ Gerätemanager
- Es erscheint ein Baum mit
  ⇒ allen Analog-Eingängen
  ⇒ allen Zähl-Eingängen
  ⇒ Aufnahme mit Einstellungen (speziell Abtastfrequenz schnell/langsam)
- **Konfigurieren der Messkanäle**
  Alle Eingänge können als Messkanäle festgelegt und konfiguriert werden.
- **Speicherung des Parametersatzes**
  Der gesamte Parametersatz (und eine evtl. vorhandene Messung) wird in einer Datei mit der Extension *.tms gespeichert. Dies kann vor oder nach der Messung geschehen.
- **Datenlogger DL16 programmieren**
  Der Datenlogger DL16 wird programmiert durch den Transfer des Parametersatzes vom PC zum DL16. Dieser Parametersatz muß entweder aktuell erstellt worden sein oder durch Öffnen einer *.tms-Datei geladen worden sein.
  ⇒ Hardware ⇒ Gerät programmieren
- **Messwerte in Echtzeit darstellen**
  Die aktuellen Werte können in Echtzeit auf dem PC als Zahlenangaben dargestellt werden
  ⇒ Hardware ⇒ Kalibrieren
- **Messung durchführen**
  Das Messfahrrad und der DL16 ist vom PC zu trennen und die Messung durchführen:
  START am DL16 drücken ⇒ Messung starten
  STOP am DL16 drücken ⇒ Messen beenden.
- **Messung zum PC transferieren**
  ⇒ Hardware ⇒ Messung auslesen
  Die Messwerte werden zum PC übertragen und dort zwischengespeichert. Sie können zusammen mit dem Messparametersatz in einer Datei mit der Extension *.tms abgespeichert werden.
  ⇒ Datei ⇒ Speichern
  Wird eine bereits vorhandene Datei überschrieben, so muß die geöffnete TMS-Datei geschlossen und wieder neu geöffnet werden.
  Die Datei *.tms enthält die aktuelle Messung mit zugehörigem Parametersatz

- **Messung für Weiterverarbeitung auf dem PC exportieren**
  Zur Weiterverarbeitung in LabVIEW oder Excel müssen die Messwerte ASCII-codiert übergeben werden und in einer ASCII *.asc abgespeichert. Die Datei kann dann aus LabVIEW oder Excel heraus geöffnet und die Messwerte können eingelesen und ausgewertet/analysiert werden.
  ⇒ Datei ⇒ Exportieren

- **Weiterverarbeitung der Messwerte auf dem PC**
  Die Messungen können z.B. mit LabVIEW dargestellt und weiterverarbeitet werden.
  ⇒ LabVIEW öffnen
  ⇒ VI Fahrrad.vi öffnen
  ⇒ VI starten, alle programmierten Messkanäle werden eingelesen und dargestellt.
- Weiter Algorithmen sowie ein Druckprogramm müssen noch entwickelt werden.

Besonderheiten beim Arbeiten mit dem LapTop

- **Prinzip:** Die Schnittstelle COM1 muß beim Booten des LapTop dekativiert sein, vor dem Start des Tellert-Kommunikationsprogrammes TEMES muß COM1 jedoch durch den Geräte-Manager von WIN95 aktiviert werden (siehe unten), sonst erhält man keine Funktion
- **Annahme:** COM1 beim Booten inaktiv:
  ⇒ Booten
  ⇒ Systemsteuerung ⇒ System ⇒ Gerätemanager ⇒ COM1 ⇒ Eigenschaften
  ⇒ aktivieren
- Mögliches weiteres Problem beim Einsatz TEMES:
  ⇒ Öffnen einer *.tms.Datei
  ⇒ DL16CV2.2 kann in **Anschluss** auf **offline** stehen !